



**You have downloaded a document from
RE-BUS
repository of the University of Silesia in Katowice**

Title: Inteligencja, jej memy oraz fizyka i mechanika

Author: Piotr Łaszczyca

Citation style: Łaszczyca Piotr. (2018). Inteligencja, jej memy oraz fizyka i mechanika. „Teksty z Ulicy. Zeszyt memetyczny” (nr 19 (2018), s. 39-81), doi 10.31261/TzU.2018.19.03



Uznanie autorstwa - Licencja ta pozwala na kopiowanie, zmienianie, rozprowadzanie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie pod warunkiem oznaczenia autorstwa.



UNIwersYTET ŚLĄSKI
W KATOWICACH



Biblioteka
Uniwersytetu Śląskiego



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



Inteligencja, jej memy oraz fizyka i mechanika

„Teksty z Ulicy. Zeszyt memetyczny” 2018, nr 19

doi:10.31261/TzU.2018.19.03

Streszczenie

Wśród licznych definicji inteligencji wyróżnia się definicja ujęta wzorem $F = T \nabla S_T$. W wolnym tłumaczeniu oznacza, że jest to termodynamiczna siła, maksymalizująca wolność wyboru inteligentnego podmiotu w przestrzeni realnego świata. Formuła ta budzi krytykę, a głębsza analiza wskazuje, że ujęcie to stosuje się raczej do ewolucji. Inteligencja realizowana w mózgach i układach sztucznej inteligencji opiera się na przetwarzaniu informacji w świecie wirtualnych modeli i korygowania błędów predykcji wynikających z konfrontacji modeli z materialną rzeczywistością. W ten sposób inteligencja poszerza pole wolności. Mechanizm powstania biologicznej inteligencji opiera się na dodatnim sprzężeniu zwrotnym między rosnącą złożonością układu nerwowego (który przetwarza informację) a skutecznością dostosowania inteligentnego systemu do środowiska (dostosowanie łączne). Ta ogólna zasada wydaje się być ograniczona przez prawo alokacji energii. Ewolucji inteligencji sprzyja kumulacja informacji i łatwość jej wymiany związana z życiem społecznym inteligentnych systemów biologicznych. W układach biologicznych inteligencja, traktowana jako integracja informacji, sprzęga się w sposób konieczny z innymi funkcjami psychicznymi: pamięcią długotrwałą, motywacją, rozwiązywaniem problemów i świadomością. Nierozstrzygniętą kwestią pozostaje, czy świadomość jest konieczna do istnienia inteligencji. Koegzystencja biologicznej i sztucznej inteligencji może być opisana przez jedną z dwóch koncepcji biologicznych: zasadę Gieorgija F. Gausego „jedna nisza – jeden gatunek” albo analogię do teorii endosymbiotycznego powstania eukariontów według Lynn Margulis. Prognozy rozwoju samodoskonalących systemów sztucznej inteligencji nadają temu pytaniu praktyczne znaczenie.

Słowa klucze

inteligencja biologiczna, sztuczna inteligencja, informacja, *causal entropic forces*, prognozy, czynniki

Intelligence – its memes, physics and mechanics

Summary

A simple physical formula, $F = T \nabla S_T$, stands out among a number of definitions of intelligence. Roughly translated, this means that intelligence is a thermodynamic force which maximizes the freedom of choice in the space of the real world. The formula raises criticism and further analysis shows that it depicts evolution rather than intelligence. Intelligence realized in the brains and the systems of artificial intelligence are based on information processing, virtual models and a correction of errors between predictions and material reality. In fact, such intelligence widens the space of freedom. The evolutionary mechanism by which biological intelligence has emerged is based on the positive reciprocal feedback between the increasing complexity of the nervous system and effective adaptation to the environment which is categorised as inclusive fitness. This principle seems to be limited by the law of energy allocation (trade-off principle). Evolution of intelligence is promoted by accumulation and free and easy exchange of information, which, in turn, is a result of social life typical for intelligent biological systems. In these systems intelligence is regarded as an integration of information, which is inevitably attributed to other psychical functions, such as long term memory, motivation, problem solving and consciousness. The crucial question is whether consciousness is necessary for the emergence of intelligence or not. Coexistence of biological and artificial intelligence may be described by two opposing models: the ecological principle of G. Gause, which states “one niche – one species” or an analogy of the theory of the endosymbiotic emergence of eukaryotes, proposed by L. Margulis. The extrapolated advancement of self-improving artificial intelligent systems confers practical significance to this question.

Keywords

biological intelligence, artificial intelligence, information, causal entropic forces, predictions

W czasach, gdy ludzka, biologiczna inteligencja (BI) tworzy sztuczną, elektroniczną inteligencję (AI), nabiera wagi pytanie, czym właściwie jest i jak powstaje inteligencja. Stanowi ono przedmiot rozważań inteligentnych ludzkich umysłów, zarówno entuzjastów AI, w rodzaju Raya Kurzweila, praktyków jak Demis Hassabis czy zaniepokojonych sceptyków, jak np. Stephena Hawkinga czy Elona Muska. Konsekwencje powstania AI ocenianie są zarówno „technicznie”¹, jak i emocjonalnie – katastroficznie².

Biologiczna inteligencja, rozumiana jako kreatywne rozwiązywanie problemów stawianych organizmowi przez środowisko, polega na przepływie informacji w mózgach i między

¹ M. Tegmark, *Benefits & risks of AI*, Future of Life Institute, <https://futureoflife.org/background/benefits-risks-of-artificial-intelligence/>, dostęp: 18.10.2018.

² T. Kwaśniewski, „Gdy powstanie sztuczna inteligencja, to zdecyduje, czy w ogóle pozwoli nam żyć”, wywiad z Dariuszem Jemielnikiem i Aleksandrą Przeglasińską, „Wysokie Obcasy Extra”, 18.10.2017, <http://www.wysokieobcasy.pl/wysokie-obcasy/7,152731,22530613,gdy-powstanie-sztuczna-inteligencja-to-zdecyduje-czy-w-ogole.html>, dostęp: 18.10.2017.

mózgami. Jest zatem zdolnością do dekodowania, interpretacji, weryfikacji i oceny wartości treści – relacji przyczynowo-skutkowych – zawartych w przekazie. Zarazem to zdolność selekcji memów i ich realizacji w postaci zachowania i e-memów (socjotypów, memefaktów), a przez to optymalizacji życia. To optymistyczno-idealistyczny obraz, bowiem inteligencja obciążona jest emocjami, które ograniczają racjonalność selekcji memów. Inteligentne zachowania ograniczone są przez dostępność i zasób bazy danych (i-memów) w osobistej, deklaratywnej pamięci długotrwałej³. Społeczne ograniczenie jest konsekwencją edukacyjnej i pedagogicznej indoktrynacji wywieranej na przenoszące informację mózgi.

Krytyczny obserwator zada pytanie: po co jest inteligencja? Adresatem jest Charles Darwin i jego apologeta. Przytłaczająca większość gatunków istot żywych radzi sobie bez inteligencji. Wśród wielu sposobów życia przypadkowy dobór naturalny skazał jedynie nieliczne inteligentne gatunki na koszty przetwarzania złożonej i pozornie zbędnej informacji. Wyrok ten wiąże się ze strategią rozrodczą typu K. Stratedzy K stawiają na inwestycje energii i intensywnej opieki w nieliczne potomstwo. Ich potomstwo cechuje się wysoką indywidualną zdolnością przetrwania. Dla K-strategów strata każdego potomka jest katastrofą. Stratedzy rozrodczy typu r stawiają na szybko mnożoną masę wielkiej liczby potomstwa. Z milionów osobników potomnych r-strategów przeżywa statystycznie zaledwie para zastępująca rodziców. Na tym poziomie zamyka się memetyczna pętla sprzężeń zwrotnych dodatnich: rodzice – stratedzy K – przekazują memy swojemu potomstwu. Stratedzy r nie mają tej możliwości. Splot własności biologicznych naszego gatunku powoduje, że intensyfikuje to dobór naturalny, konkurencję o najlepsze memy, preferencje społeczną i płciową ich nosicieli, a w konsekwencji – eksplozję ludzkiej cywilizacji materialnej i kultury duchowej⁴.

Wielu badaczy uważa, że „po 100 latach nieprzerwanych badań naukowcy zajmujący się mózgiem nadal nie rozumieją, jak działa ten ważący nieco ponad kilogram narząd, który steruje wszystkimi świadomymi działaniami człowieka”⁵. Pogląd ten jest zbyt pesymistyczny. Każda publikacja z dziedziny neuronauk ujawnia złożone fakty i zależności, często wymykające się naocznej obserwacji. Wyniki te składają się na sensowny i spójny obraz, trudny do objęcia przez mózg, będący równocześnie przedmiotem i podmiotem badania.

Definicje i inteligentne spory

Podstawowe nieporozumienie dotyczące mózgu i jego czynności wynika z antropocentrycznego zadufania. Mózg, lub inteligentny i samoświadomy umysł, nie jest

³ P. Łaszczyca, *Memy w pamięci: jak wysłedzić memy w mózgu*. „Teksty z ulicy. Zeszyt memetyczny” 2017, nr 18, s. 11–42.

⁴ Zob. S. Blackmore, *Maszyna memowa*, przed. R. Dawkins, przeł. N. Radomski, Poznań 2002; Y.N. Harari, *Sapiens. Od zwierząt do bogów*, przeł. J. Hunia, Warszawa 2017; tegoż, *Homo Deus, Krótka historia jutra*, przeł. M. Romanek, Kraków 2018.

⁵ R. Yuste, G.M. Church, *Nowa era badań mózgu*, „Świat Nauki” 2014, nr 4, <https://www.swiatnauki.pl/8,1435.html>, dostęp: 18.12.2018.

transcendentnym narzędziem poznania. Nie służy do liczenia całek, rozważań historycznych, pisania symfonii, haiku, dywagacji o memach, oddawania czci bóstwom itp. Jest narzędziem do wartościowania rzeczywistości. Ocenia otaczający osobnika świat w kategoriach „jest dobrze” – „jest źle”, nagroda albo kara. Algebra, poezja, sztuka, nauka itp. mogą być jedynie narzędziem zwiększającym prawdopodobieństwo nagród i ograniczającym wystąpienie kar, czyniącym świat „chwilowo bardziej znośnym” dla inteligentnego człowieka.

Z licznych definicji inteligencji Shane Legg i Marcus Hutter⁶ wybrali zbiór 70 reprezentatywnych i pogrupowali je na:

- 1) Definicje zbiorcze (*collective definitions*) odwołujące się do takich kategorii, jak: wiedza, adaptacja, zdolności, rozumowanie, prawda, fakty, generalizowanie, posługiwanie mową, doświadczenie (18 przykładowych definicji).
- 2) Psychologiczne definicje funkcjonalne (*psychologists' definitions*), podkreślające: rozwiązywanie problemów, dostosowanie, planowanie, tworzenie produktu, wydawanie sądów, wyzwania, abstrakcje oraz m.in. „wynik w testach psychometrycznych” (35 przykładów).
- 3) Definicje twórców sztucznej inteligencji (*AI researcher definitions*) odwołujące się m.in. do: sukcesu, celów, zasobów, czasu, przetwarzania informacji (18 przykładów).

Cytowany przez nich Theodore Lothrop Stoddard (1883–1950) wypunktowuje istotne cechy inteligencji, rozumianej jako zdolność do podejmowania działań charakteryzujących się: 1) trudnością, 2) złożonością, 3) abstrakcyjnością, 4) ekonomią, 5) przystosowaniem do celów, 6) wartością społeczną, 7) kreacją oryginalnych efektów oraz 8) utrzymywaniem takich działań w warunkach wymagających wysiłku (nakładu energii) i odporności na nasilone emocje⁷.

Syntetyczna definicja Legga i Huttera obejmuje: 1) interakcję ze środowiskiem, 2) sukces w osiągnięciu celu, 3) zdolność dostosowania do okoliczności.

Mówiąc o sztucznej inteligencji, większość autorów wyróżnia: 1) sztuczną inteligencję słabą [zadaniową – PŁ.] – AI (*artificial intelligence*), oraz 2) sztuczną inteligencję silną, ogólną, pełną lub prawdziwą [samoświadomą – superinteligencję – PŁ.] – AGI (*artificial general intelligence*)⁸.

Dotychczasowe techniczne realizacje sztucznej inteligencji (np. Siri, Eugene, Google, Deep Blue) mają charakter słabej, zadaniowej inteligencji o stałej, jednolitej, powtarzalnej funkcji i wąskich zastosowaniach. Można je porównać do umysłu ludzkiego sawanta (*savant idiot*)⁹. Cechują się bowiem wysokim poziomem sprawności ograniczonej

⁶ S. Legg, M. Hutter, *A Collection of Definitions of Intelligence*, „Frontiers in Artificial Intelligence and Applications” 2007, vol. 57, s. 17–24.

⁷ Por. tamże.

⁸ *Artificial General Intelligence*, https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_general_intelligence, dostęp: 30.04.2018.

⁹ Termin Johna Langdona Downa z 1887 roku.

do konkretnych zadań. Możliwe jest też porównanie słabej AI z inteligencją konkretną zwierząt, która jest „wielozadaniowa”, ale reaktywna i ograniczona do manipulowania realnymi obiektami w czasie rzeczywistym – bez możliwości odroczenia. W przeciwieństwie do konkretnej, inteligencja abstrakcyjna operuje wirtualnymi modelami¹⁰. Centralnymi problemami w opisie inteligencji wydaje się często podnoszony jej związek ze świadomością i rzadko dostrzegany związek z motywacjami (napędami, popędami do działania).

Wysiłek wikipedystów¹¹ tworzących hasło *intelligence* zaowocował skróconym przeglądem głównych koncepcji inteligencji.

Tab. 1. Porównanie definicji inteligencji zamieszczonych w hasle *intelligence* w anglojęzycznej wersji Wikipedii

Autor	Definicja
Alfred Binet	Zdolność osądu, zwana „zdrowym rozsądkiem”, „zmysłem praktycznym”, „inicjatywą”, zdolność do dostosowania się jednostki do okoliczności [...] samokrytycyzm [...].
David Wechsler	Całościowa zdolność lub ogólna wydolność osobnika do celowego działania, myślenia racjonalnego i skutecznego współdziałania/radzenia sobie ze środowiskiem [od czegoś trzeba było zacząć – PŁ.].
Lloyd Humphreys	„[...] wynik procesów zdobywania i gromadzenia/przechowywania pamięci oraz jej odtwarzania, kombinowania (łączenia) i porównywania w nowych kontekstach informacji, a także umiejętności koncepcyjne” [raczej nic odkrywczego – PŁ.].
Cyril Burt	„Wrodzona ogólna zdolność poznawcza” [nie wiadomo, jak ją rozpoznać – PŁ.].
Howard Gardner	„[...] ludzka zdolność intelektualna łącząca w system zdolności rozwiązywania problemów – umożliwiając osobnikowi rozwiązywanie szczególnych problemów i trudności, które napotyka, i gdy to odpowiednie, tworzenie skutecznego produktu – przy czym musi również obejmować zdolność do poszukiwania lub stwarzania problemów – a przez to tworzyć podstawę do gromadzenia wiedzy” [katastrofalnie przegadane – PŁ.].
Linda Gottfredson	„Zdolność do radzenia sobie ze złożonością poznawczą (świata)” [jakiego „radzenia sobie”? – PŁ.].

¹⁰ S. Prabhat, *Difference Between Concrete and Abstract Thinking*, „DifferenceBetween.net”, 31.03.2010, <http://www.differencebetween.net/language/difference-between-concrete-and-abstract-thinking/>, dostęp: 27.12.2017.

¹¹ S. Skolik, *Pacyнки, trolle, spam, hoaxy i wandalizmy. Mechanizmy wykrywania oszustów w przestrzeni Wikipedii*, „Teksty z Ulicy. Zeszyt memetyczny” 2017, nr 18, s. 130–143.

Robert Sternberg i William Salter	Zachowanie adaptacyjne nakierowane na cel [zdecydowanie za mało, pasuje też odruch – PŁ.].
Reuven Feuerstein	Teoria Strukturalnej Zmienności Poznawczej opisuje inteligencję jako „unikalną zdolność człowieka do zmiany lub modyfikacji struktury jego funkcjonowania poznawczego, aby zaadaptować się do zmieniających się wymagań sytuacji życiowej” [dobrze brzmi, ale za dużo terminów do wtórnego definiowania i pasuje także odruch – PŁ.].
Shane Legg i Marcus Hutter	(synteza ponad siedemdziesięciu definicji) „Miara wykazywanej przez agenta zdolności do osiągania celów w różnych, zmiennych środowiskach, możliwa do sformalizowania matematycznego” [zbyt pojemna i nie odnosząca się do procesu – PŁ.].
Alexander Wissner-Gross i Cameron Freer	$F = T \nabla S_\tau$ [porażająco krótkie, lecz trzeba popracować, aby zrozumieć – PŁ.].

Na podstawie: *Intelligence*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligence>, dostęp: 30.08.2017.

Tłumaczenie własne.

Słabością większości tych definicji jest trudność ich operacjonalizacji – brak wskazania mierzalnych cech umożliwiających diagnozowanie. Ostatni, stosunkowo nowy wiersz tej tabeli odwołuje się do publikacji fizyków Alexandra D. Wissnera-Grossa i Camerona E. Freera (2013)¹² i oznacza mniej więcej: **Inteligencja jest siłą maksymalizującą przyszłe możliwości wyboru (wolność!)**¹³. Pełny zapis równania ($F = T \nabla S_\tau$) ma bardziej skomplikowaną postać:

$$F(X_0, \tau) = T \nabla_x S_c(X, \tau)|_{x_0},$$

gdzie:

F – ukierunkowana siła (wektor), reprezentująca inteligencję i będąca funkcją stanu początkowego i czasu predykcji/śledzenia zmian,

T_c – temperatura, w tym równaniu: energia (rozumiana dosłownie i w przenośni) przemiany zachodzącej po określonej ścieżce w przestrzeni (w oryginale: *causal path temperature*),

S_c – obszar/ścieżka zmian entropii dla stanów osiągalnych w horyzoncie czasowym τ ,

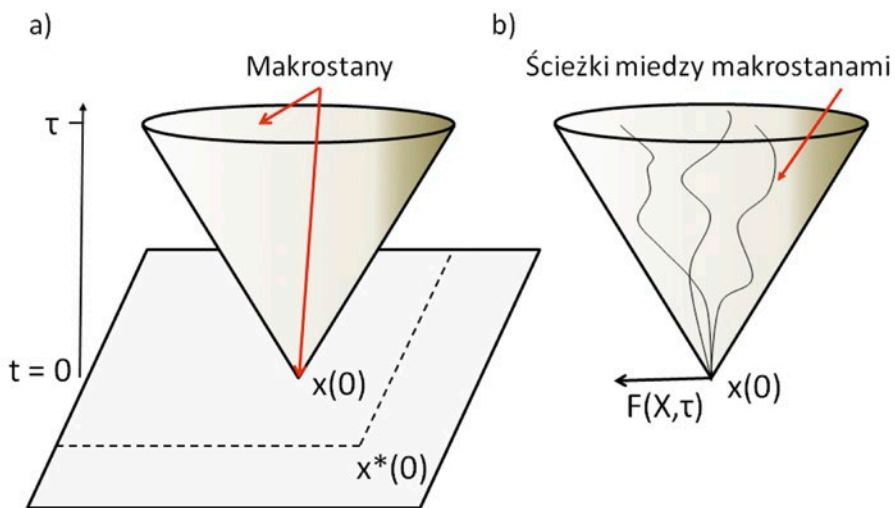
¹²A.D. Wissner-Gross, C.E. Freer, *Causal Entropic Forces*, „Physical Review Letters” 2013, vol. 110, s. 1–5.

¹³A.D. Wissner-Gross, *A new equation for intelligence* [film video], https://www.ted.com/talks/alex_wissner_gross_a_new_equation_for_intelligence, dostęp: 18.12.2017.

od punktu początkowego, czyli obszar wyboru do określonej chwili τ w przyszłości (w oryginale: *causal path entropy*),
 τ – horyzont czasowy przewidywania możliwy do osiągnięcia przez inteligencję,
 ∇ – „nabla”, operator gradientowy/wektorowy maksymalizacji stanów/minimalizacji ograniczeń.

∇ (nabla) – stosowana w rachunku wektorowym konwencja notacyjna z wykorzystaniem symbolu nabli ∇ ułatwiająca opis gradientu (dla pola skalarnego), czy też różnorodnych operatorów różniczkowych [...]. Nabla traktowana jest podobnie do wektora: można ją mnożyć skalarnie, wektorowo, a nawet tensorowo przez pola skalarne bądź wektorowe uzyskując inne pola skalarne lub wektorowe albo kolejne operatory różniczkowe [...]¹⁴.

Równanie to jest formalnie podobne do równania maksymalizacji energii potencjalnej układu. W oryginalnej pracy i jej interpretacjach zasadniczą tezę ilustruje wykres.



Ryc. 1. Schematyczne przedstawienie przyczynowej siły entropii (*a causal entropic force*).

- (a) Makrostan przyczynowy X w horyzoncie czasowym τ , składający się ze ścieżek mikrostanów $x(t)$, które współdzielią stan początkowy $x(0)$, w termodynamicznie otwartym systemie.
- (b) Ścieżki mikrostanów należące do makrostanu przyczynowego X , w którym (dla zilustrowania koncepcji) jest wyróżniona część przestrzeni wyłamująca się z symetrii odwzorowań (*space volume that breaks translational symmetry*), powodująca, że przyczynowa siła entropii F jest skierowana poza wyłączonej przestrzeń¹⁵

¹⁴ Nabla, https://pl.wikipedia.org/wiki/Operator_nabla, dostęp: 17.11.2017.

¹⁵ Tłumaczenie własne. Zaczerpnięte z: A.D. Wissner-Gross, C.E. Freer, *Causal Entropic Forces*...

Trudno oprzeć się urokowi definicji inteligencji, która odwołuje się do maksymalizacji wolności. Znana powszechnie prowokacja Alana Sokala skłania jednak do ostrożności¹⁶. Równocześnie fizykalna koncepcja inteligencji wkomponowuje się w ugruntowane już teorie z pogranicza matematyki, nauk przyrodniczych i humanistycznych: teorię chaosu Edwarda Lorenza¹⁷, koncepcję fraktali i atraktorów¹⁸ oraz teorię katastrof Rene Thoma¹⁹.

Wissner-Gross zaprojektował program Entropica²⁰, który symuluje inteligencję zdefiniowaną w przestrzeni wirtualnej. Program funkcjonuje bez wcześniejszego uczenia i wyznaczania zadań – wystarczy zaprogramować sytuację i, jak twierdzi autor, symulacja „działa”. Grono entuzjastów jest zachwycone²¹. Ironicznie można jednak zauważyć, że memy informacji o programie Entropica konkurują słabo o przestrzeń internetową z memami dotyczącymi grupy muzycznej Entropica.

Definicja inteligencji Wissnera-Grossa „zawisła” na operatorze gradientowym ∇ symbolizującym maksymalizację funkcji, tu odwzorowującym „wzrost” przestrzeni reprezentującej zmienność stanów, w której może znajdować się badany system. Matematycy i fizycy są niestety krytyczni wobec – co najmniej – aktualnej postaci koncepcji. Gilbert Kappen²² w swoich symulacjach stwierdza, że zaproponowana postać zamiast maksymalizować przestrzeń zmierza do minimum równego zero. Co więcej, nie uwzględnia nieprzekraczalnych „ścian” ograniczających realną przestrzeń adaptacji. Modele komputerowe stworzone przez zespół informatyków z Politechniki Wrocławskiej²³ również zmierzały do minimum i zatrzymywały się w nim, nie osiągając zwiększenia obszaru wyborów postulowanego przez Wissnera-Grossa i Freera. Wstępne, niezależne symulacje wskazują zatem, że model nie działa lub jest niewystarczający – niekompletny.

Pomijając niedoskonałości modelu, warto zauważyć, co wynikałoby z niego, gdyby udało się go doprowadzić do stanu niebudzącego zastrzeżeń. Jeśli inteligencja

¹⁶ A. Sokal, *Transgressing the Boundaries: Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity*, „Social Texts” 1996, vol. 46/47, s. 217–252.

¹⁷ *Chaos theory*, https://en.wikipedia.org/wiki/Chaos_theory, dostęp: 18.04.2018; E.N. Lorenz, *Deterministic non-periodic flow*, „Journal of the Atmospheric Sciences” 1963, vol. 20 (2), s. 130–141.

¹⁸ *Fractal*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Fractal>, dostęp: 17.04.2018.

¹⁹ *Catastrophe theory*, https://en.wikipedia.org/wiki/Catastrophe_theory, dostęp: 18.04.2018; R. Thom, *Espaces fibrés en sphères et carrés de Steenrod*, „Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure” 1952, vol. 69.

²⁰ Do końca 2017 roku opis projektu dostępny był na stronie <http://www.entropica.com/>, aktualnie informacji o projekcie można szukać na stronie domowej jego twórcy: Dr. Alexander D. Wissner-Gross, <https://www.alexwg.org/>, dostęp: 27.12.2017. Prezentację projektu można także znaleźć w serwisie Youtube: *Entropica: Sapient Software*, <https://www.youtube.com/watch?v=cT8ZqChv8P0>, dostęp: 12.12.2018.

²¹ M. Scharf, *A new Equation for Intelligence $F = T \nabla S \tau$ – a Force that Maximises the Future Freedom of Action*, „Eclipse and Java Blog by Michael Scharf”, <http://michaelscharf.blogspot.com/2014/02/a-new-equation-for-intelligence-f-t-s.html>, dostęp: 12.12.2017.

²² H.J. Kappen, *Comment: Causal entropic forces*, <https://arxiv.org/abs/1312.4185>, 15.12.2013, dostęp: 10.03.2018.

²³ Informacja uzyskana w 2018 roku w wyniku korespondencji z Jackiem Cichonem z Katedry Informatyki na Politechnice Wrocławskiej.

to termodynamiczna siła, która maksymalizuje wolność, rozumianą jako wolność wyboru w określonym horyzoncie czasowym, to:

- inteligencja oznacza rozpoznanie możliwości, określenie zależności, zapamiętanie, wybór i reakcję, która przeciwdziała chaosowi (w wyróżnionej przestrzeni),
- inteligencja i wolność są trudne (stary postulat egzystencjalizmu?), co spostrzega każdy czytelnik niebędący fizykiem,
- inteligencja nie musi być moralna *a priori*. Moralność wynika z konsekwencji, które inteligencja jest w stanie przewidzieć (gdy czas zmierza do nieskończoności). Oczywiście ta ostatnia konsekwencja musi odwołać się do socjobiologicznej zasady altruizmu zwrotnego, wyników teorii gier²⁴ oraz równowagi Nasha²⁵.

Ujęcie Wissner-Grossa i Freera „mogłoby być może” odpowiadać inteligencji jednostki/osobnika. Jednak przestrzeń „inteligentnego lejka” Wissnera-Grossa i Freera może zajmować większa – wręcz dowolna – liczba osobników, w dowolnie długim – „nieograniczonym” – czasie, i wtedy, „jak można podejrzewać”, byłaby to przestrzeń i równanie ewolucji. Dla rzeczywistego odwzorowania inteligencji konieczne „wydaje się” sprzężenie zwrotne zachodzące w „bardzo krótkim czasie”, które mogłoby być przedstawiane w tej skali jako fragment powierzchni prostopadłej do osi czasu „inteligentnego lejka”. Fragment ten symbolizowałby testowanie modelu i korekcję predykcji rozwoju w aktualnych warunkach, tj. w chwili dokonywania inteligentnego modelowania i predykcji. Ponadto inteligencja nie musi realizować się w świecie realnym – nader często operuje w świecie wirtualnych wyobrażeń i modeli – wyłącznie w świecie myśli i idei. Zatem inteligencja to przewidywanie – modelowanie – przyszłych stanów i korekta błędów przewidywania.

Definicja inteligencji, wynikająca z rewizji modelu Wissnera-Grossa i przytoczonych definicji tradycyjnych, musi obejmować jej zoperacjonalizowane własności:

- inteligencja jest zdolnością modelowania relacji przyczynowo-skutkowych lub przebiegu zmian stanu wybranego fragmentu świata przez system informatyczny (system biologiczny jak mózg lub maszynę cyfrową),
- modelowanie odbywa się w sferze wirtualnych odwzorowań rzeczywistości lub, w przypadku inteligencji konkretnej, na realnych obiektach materialnych w czasie rzeczywistym,
- modelowanie jest ograniczone aktualnym zasobem informacji w momencie tworzenia modelu,
- wyniki modelowania porównywane są z oczekiwanymi stanami modelowanych obiektów,

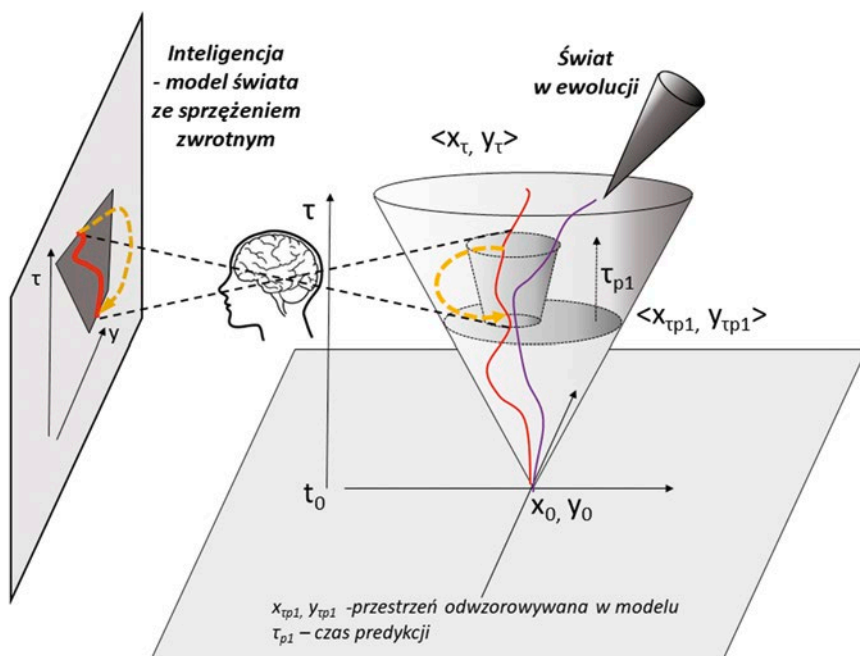
²⁴W opartych na teorii gier symulacjach zachowań społecznych (A. Rapoport, R. Axelrod, W. Hamilton – por. np. *Tit for tat*, https://en.wikipedia.org/wiki/Tit_for_tat, dostęp: 15.01.2018) ustala się równowagę między strategiami altruistycznymi i sprawiedliwymi, które wyłumiają społeczne i egoistyczne strategie zachowań do niewielkiego marginesu. Długoterminowe obserwacje społeczne i historyczne wydają się potwierdzać te modele.

²⁵*Nash equilibrium*, https://en.wikipedia.org/wiki/Nash_equilibrium, dostęp: 15.01.2018.

- między przewidywanym efektem modelowania a początkowymi założeniami modelu zachodzi sprzężenie zwrotne, które dostarcza informacji zwrotnej – sygnału błędu,
- wyniki modelowania są memami (w szerokim rozumieniu tego terminu) i podlegają selekcji na zasadach „darwinowskich” w „przestrzeni memetycznej” – w zasobach pamięci systemów informatycznych (m.in. mózgów).

Kryterium selekcji modeli (memów) w systemach biologicznych są emocje²⁶. Inteligencja może zatem prowadzić również do błędnych predykcji i korekty – wielokrotnego powtarzania pętli modelującej.

Zasadnicza różnica: ewolucja selekcjonuje zaistniałe ścieżki adaptacji, inteligencja selekcjonuje niezrealizowane materialnie modele ścieżek rozwoju, zanim dokona ukierunkowanego wyboru i realizacji.



Ryc. 2. Wirtualne modele jako objaw inteligencji w realnym świecie. Inteligencja biologiczna modeluje i prognozuje zjawiska realnego świata w świecie wirtualnym odwzorowań mózgowych i tam może je testować z ograniczeniem wynikającym z aktualnego stanu posiadanej wiedzy

Próba testowania proponowanej definicji jest przywołanie współczesnych wyników badań i teorii dotyczących inteligencji. Zgodnie z postulatem Karla Poppera twierdzenia naukowe należy poddać falsyfikacji, w celu wykluczenia ich nieprawdziwości. Polega to na wskazaniu jednostkowego przypadku objętego zakresem twierdzenia, w którym

²⁶ P. Łaszczyca, *Memy w pamięci...*

nie byłyby spełnione założenia lub jego konsekwencje²⁷. Ze względów psychologicznych jest to trudne zadanie dla autora. Sama zaś koncepcja falsyfikacjonizmu poddana była powszechnie znanej krytyce. Alternatywa w postaci konfirmacji opartej na kanonach indukcji (niezupełnej) Johna Stuarta Milla nie daje pożądanej pewności wnioskowania.

Test pierwszy

Historia (traktowana jako model ewolucji i inteligencji)²⁸ dowodzi, że prezentowane ujęcie ma sens. Za przykład niech posłuży znany przypadek przewidywań i błędów predykcji Krzysztofa Kolumba (1492): inteligencja – inteligentne przewidywanie – błąd przewidywania – jego korekta i stan aktualny. Przypadki równoległych przewidywań – korekcji błędów i efektu końcowego – obejmują nie tylko samego poszukiwacza Indii Wschodnich i Wysp Korzennych, ale także króla Portugalii Jana II, królową Hiszpanii Izabelę Kastylijską i jej doradcę Luisa de Santángela oraz wodzów Azteków, Majów, Inków i Indian Północnej Ameryki. Aktualnie (2018) przykładem i konsekwencją tego inteligentnego działania (wyborów) są m.in. Stany Zjednoczone Ameryki Północnej, ale również Kolumbia, Meksyk, Kuba i Chile oraz kartele narkotykowe. Sfalsyfikowanie tego punktu widzenia jest wyzwaniem czekającym na podjęcie.

Biologiczna maszyna do robienia inteligencji i innych rzeczy

Definicja Wissnera-Grossa i Freera dopuszcza istnienie różnych inteligencji: istotą jest przetwarzanie informacji, budowanie i testowanie modeli, optymalizacja użycia energii (zasada alokacji energii – *trade off*)²⁹, lokalna antyentropowość i maksymalizacja przyszłych możliwości (wyborów stanu). Różnice między inteligencjami sprowadzają się do szybkości reakcji (stała czasowa reakcji systemu) oraz tworzywa – rodzaju materii, w którą procesy ewolucji zaimplementowały inteligencję. Taką panpsychiczną inteligencję we Wszechświecie opisuje wizjonerski Hoimar von Ditfurth w książce *Nie tylko z tego świata jesteśmy*³⁰ oraz sarkastyczny Stanisław Lem w licznych dziełach.

Biologiczna inteligencja polega na przetwarzaniu informacji w układzie nerwowym, w przypadku kręgowców reprezentowanym głównie przez mózgowie, którego częścią jest mózg rozumiany jako kora mózgowa i podkorowe jądra podstawy mózgu. Do inteligentnych czynności mózgu niezbędna jest aktywność położonego „niżej” pnia mózgu, warunkująca m.in. utrzymanie stanu czuwania – gotowości do przetwarzania informacji. Rozmiar mózgowia i subtelna struktura wewnętrzna tworzących go sieci jest decydująca

²⁷ Falsyfikacja, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Falsyfikacja>, dostęp: 25.04.2018.

²⁸ Por. Y.N. Harari, *Sapiens...*; tegoż, *Homo Deus...*

²⁹ *Dynamic energy budget theory*, https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_energy_budget_theory, dostęp: 22.01.2018; N. Perrin, R.M. Sibby, *Dynamic Models of Energy Allocation and Investment*, „Annual Review of Ecology and Systematics” 1993, vol. 24, s. 379–410.

³⁰ H. von Ditfurth, *Nie tylko z tego świata jesteśmy*, przeł. A. Tauszyńska, Warszawa 1994.

dla ilości i szybkości przetwarzanej informacji. Fizyczne wskaźniki tej zdolności plasują człowieka wysoko w porównaniu do innych istot żywych³¹:

- masa bezwzględna mózgowia: **EM = 1,5 kg**, natomiast goryl i koń – ok. 0,5 kg, a płetwał – 3,5 kg³²,
- wskaźnik encefalizacji: **EM = EQ x (BM)^N**, przy EQ = 7,5, N = 0,28 jest rekordem,
- stosunek masy mózgowia do ciała: **RBM = EM/BM = 1/40** – jak u myszy, gorzej niż u kolibra,
- liczba neuronów: **NN = 86 mld** – więcej ma m.in. słoń – 257 mld³³,
- wskaźnik pofałdowania kory: **CI = 2,9** – człowieka przewyższa delfin z CI = 4,3³⁴,
- grubość kory mózgu: **CTh = 2,8 mm**, natomiast delfin: 1,7 mm,
- wskaźnik usieciowania, czyli proporcja objętości istoty białej do istoty szarej **WGI**: $\log W = 1,23 \log G - 1,47$ – lepsze są tylko walenie i słoń³⁵,
- gęstość upakowania minikolumnienek korowych (elementarnych modułów przetwarzania informacji): **HSD** (*horizontal spacing distance*) daje człowiekowi pierwsze miejsce wśród naczelnych³⁶.

Ośmiornice, reprezentatywne dla inteligentnych głowonogów morskich, pozostają daleko w tyle z 500 mln neuronów w zwojach głowowych, co częściowo nadrabiają dzięki osobnym zwojom nerwowym, które kontrolują każde z ramion, oszczędzając „mózgowi” przetwarzania informacji³⁷.

Energożerny mózg – kosztowna inteligencja

Wskaźnikiem intensywności procesów przetwarzania informacji w mózgowiu jest jego udział w ogólnym zużyciu energii przez organizm człowieka. Mózgowie dorosłego człowieka stanowiące ok. 2% masy ciała zużywa 20% energii wydatkowanej dziennie (25% dla przemiany spoczynkowej). Maksymalną dla człowieka wartość wskaźnik ten przyjmuje u pięcioletnich dzieci, sięgając 70% średniego dobowego wydatku energii (i 87% przemiany spoczynkowej) dla mózgu stanowiącego wtedy ok. 5–6% masy ciała. Wynika

³¹ Por. C. De Miguel, H. Hennerberg, *Variation in hominid brain size: How much is due to method?*, „HOMO – Journal of Comparative Human Biology” 2001, vol. 52 (1), s. 3–85; G.J. Rinkus, *A cortical sparse distributed coding model linking mini- and macrocolumn-scale functionality*, „Frontiers in Neuroanatomy” 2010, vol. 4, s. 17.

³² C. Steinhausen, L. Zehl, M. Haas-Rioth i in., *Multivariate Meta-Analysis of Brain-Mass Correlations in Eutherian Mammals*, „Frontiers in Neuroanatomy” 2016, vol. 10, s. 91.

³³ S. Herculano-Houzel, Ch.E. Collins, P. Wong i in., *Cellular scaling rules for primate brains*, „PNAS” 2007, vol. 104 (9), s. 3562–3567; S. Herculano-Houzel, L. Lent, *Isotropic fractionator: a simple, rapid method for the quantification of total cell and neuron numbers in the brain*, „Journal of Neuroscience” 2005, vol. 25, s. 2518.

³⁴ R. Toro, *On the Possible Shapes of the Brain*, „Evolutionary Biology” 2012, vol. 39, s. 60.

³⁵ K. Zhang, T.J. Sejnowski, *An universal scaling law between gray matter and white matter of cerebral cortex*, „PNAS” 2000, vol. 97 (10), s. 5621–5626.

³⁶ R.E. Nisbett, J. Aronson, C. Blair i in., *Intelligence. New Findings and Theoretical Developments*, „American Psychological Association” 2012, vol. 67 (2), s. 130–159.

³⁷ B. Hochner, T. Shomrat, G. Fiorito, *The octopus: a model for a comparative analysis of the evolution of learning and memory mechanisms*, „Biological Bulletin” 2006, vol. 210 (3), s. 308–331.

to z nieustannej czynności sieci neuronalnych, kosztów powstawania potencjałów błonowych w neuronach oraz wytwarzania, wydzielania i recyklingu ponad 50 rodzajów chemicznych substancji komunikacyjnych – mediatorów nerwowych. Dwukrotnie większe nasilenie metabolizmu w młodych mózgach wiąże się z kosztem przebudowy i wzrastania, które „kończą się” dopiero ok. 25 roku życia, wynika zatem także z wysiłku związanego z uczenia się świata. Około 96% energii zużywa istota szara mózgu (ciała neuronów)³⁸.

Energożerność układu nerwowego człowieka ma behawioralne konsekwencje i ewolucyjne uwarunkowania, ujęte w zasadzie alokacji energii – odniesieniu praw termodynamiki i ekonomii do istot żywych. Jest też ważnym czynnikiem rozwoju ludzkiej inteligencji, „służącej” optymalizacji gospodarki energią. Zgodnie z zasadą alokacji energii każdy system (organizm) dysponuje ograniczonym zasobem energii, który rozdysponowuje na wszystkie procesy (życiowe) podtrzymujące jego istnienie. Dobór naturalny selekcjonuje i pozwala istnieć jedynie tym systemom, które optymalnie rozdzielają dostępny zasób energii w sposób umożliwiający podtrzymanie wszystkich nieodzownych procesów na maksymalnym możliwym poziomie. Ujmując prosto i antropomorfizując: „rób wszystko, co trzeba, ale i oszczędzaj energię, aby starczyło na długie życie i pozostawienie zdrowego potomstwa”³⁹. W dalszej konsekwencji skutkuje to ewolucją inteligentnych systemów biologicznych i społecznych.

Inteligencja – formy uzewnętrznionego zachowania

Podstawową kontrowersją narastającą podczas tysiącleci, w czasie których ludzie obserwowali zachowania własne i zwierząt, był problem powszechności inteligencji (panpsychizmu) w świecie istot żywych. Jego przeciwstawieniem jest idea reaktywnego „zwierzęcia/ człowieka maszyny” autorstwa Juliena Offraya de La Mettrie. Została ona doprowadzona do skrajności w koncepcji tropizmów Jacques’a Loeba. Do dziś rozgraniczenie

³⁸ A.K. Miller, R.L. Alston, J.A. Corsellis, *Variation with age in the volumes of grey and white matter in the cerebral hemispheres of man: measurements with an image analyser*, „Neuropathology and Applied Neurobiology” 1980, vol. 6, s. 119–132; C.W. Kuzawa, H.T. Chugani, L.I. Grossman i in., *Metabolic costs and evolutionary implications of human brain development*, „PNAS” 2014, vol. 111 (36), s. 13010–13015; M.E. Raichle, D.A. Gusnard, *Appraising the brain's energy budget*, „PNAS” 2002, vol. 99 (16), s. 10237–10239; A.Z. Snyder, M.E. Raichle, *A Brief History of the Resting State: the Washington University Perspective*, „Neuroimage” 2012, vol. 62 (2), s. 902–910; V. Son'kin, R. Tambovtseva, *Energy Metabolism in Children and Adolescents*, w: *Bioenergetics*, ed. J. Clark, <https://www.intechopen.com/books/bioenergetics/energy-metabolism-in-children-and-adolescents>, DOI: 10.5772/31457, dostęp: 18.12.2018, s. 121–143; C.F. Grande, *Energy metabolism of the brain in children*, „Annales Espaniolea de Pediatria” 1979, vol. 12 (3), s. 235–244.

³⁹ Por. M. Heino, V. Kaitala, *Evolution of Resource Allocation Between Growth and Reproduction in Animals with Indeterminate Growth*, „Journal of Evolutionary Biology” 1999, vol. 12 (3), s. 423–429; J. Kozłowski, A.T. Teriokhin, *Allocation of Energy Between Growth and Reproduction: The Pontryagin Maximum Principle Solution for the Case of Age- and Season-dependent Mortality*, „Evolutionary Ecology Research” 1999, vol. 1, s. 423–441; J. Kozłowski, R.G. Wiegert, *Optimal Allocation of Energy to Growth and Reproduction*, „Theoretical Population Biology” 1986, vol. 29 (1), s. 16–37; C.W. Kuzawa, H.T. Chugani, L.I. Grossman i in., *Metabolic costs and evolutionary...*

czynności inteligentnych od zachowań „czysto” reaktywnych jest wyzwaniem i problemem. Częściowe rozwiązanie pochodzi od Gastona Viauda.

Tab. 2. Klasyfikacja reakcji/form zachowania wg Gastona Viauda – oparta o gradientowe zmiany nasilenia czynników różnicujących formy zachowania

Własności reakcji	Odruch i nastia	Taksja i tropizm	Instynkt	Zachowanie inteligentne
Dziedziczenie Stereotypowość	+	+	+/- (?)	-
Rodzaj bodźca	czynnik (prosty)	czynnik	znak – wyzwalacz, sygnał	znak (symbol), mem
Aktywacja napędu	-	-/+ (?)	+	+
Złożoność reakcji	prosta, narządu	prosta	sekwencyjna	sekwencyjna
Efekt reakcji	unikanie, osiągnięcie bodźca	osiąganie ekstremum lub optimum	wygaszanie napędu, potrzeby	wygaszanie motywacji
Składnik orientacyjny	-	-/+ (?)	+	+

+ – obecność czynnika; - - nieobecność czynnika

Na podstawie: G. Viaud, *Instynkty*, przeł. H. Waniczek, Warszawa 1965.

Tab. 3. Różnice między myśleniem (inteligencją) konkretnym a myśleniem abstrakcyjnym – rekapitulacja

Myślenie/inteligencja konkretna	Myślenie/inteligencja abstrakcyjna
realne obiekty w realnym świecie	mentalne, wirtualne modele
czas rzeczywisty	czas wirtualny
modele sytuacyjne na obiektach realnych	predykcja stanów
korekta błędów realnych bywa niemożliwa	korekta błędów przewidywania, restart modelu
wzmocnienie natychmiastowe	wzmocnienie odroczone

Na podstawie: *What are concrete and abstract thinking?*, http://www.projectlearn.net.org/tutorials/concrete_vs_abstract_thinking.html, dostęp: 27.12.2017; S. Prabhat, *Difference Between Concrete and Abstract Thinking...*; *Tutorial: Concrete vs. Abstract Thinking*, http://www.projectlearn.net.org/tutorials/concrete_vs_abstract_thinking.html, dostęp: 27.12.2017.

Charakterystykę behawioralną inteligencji trzeba uzupełnić o jej (wspomniany wcześniej) podział na inteligencję konkretną i abstrakcyjną. Wywodzi się z badań nad

zachowaniem zwierząt Edwarda L. Thorndike'a⁴⁰ oraz Iwana Pawłowa⁴¹ i opisu rozwoju dziecka Jeana Piageta⁴² (rekonstrukcja – P.L.).

Łatwe do zaobserwowania przejawy inteligencji konkretnej zwierząt nie budzą na ogół kontrowersji od czasów badań Wolfganga Köhlera⁴³, w których szympanś Sułtan inteligentnie wykorzystał kije i skrzynki do zdobycia banana. Próby przypisywania zwierzętom inteligencji abstrakcyjnej, szczególnie porównywalnej z ludzką, wywołują ideologicznie umotywowany sprzeciw, czasami zaś zasadną i w konsekwencji twórczą krytykę. Znamienita część zarzutów odwołuje się do reaktywności zachowań inteligentnych u zwierząt (tego, że są odpowiedzią na doraźne bodźce) oraz niemożności wykazania uprzedniego planu dowolnego działania. W przypadku inteligentnej komunikacji między osobnikami tego samego lub różnych gatunków zastrzeżenia budzi skąpy zasób komunikatów, brak śladów składni modyfikującej znaczenie znaków oraz brak wytwórczości – produkcji nowych znaków, opisujących nowe spostrzeżenia i relacje. Zarzuty można oczywiście podważać, np. ten dotyczący składni jest dyskusyjny w świetle obserwacji porozumiewania się sikorek bogatek wschodnich (*Parus minor*)⁴⁴. Wykazano, że składnia tych samych formantów śpiewu sikorek decyduje o znaczeniu komunikatu. Być może jednak to po prostu montaż dostępnych formantów w jednolitą „jednowyrazową kombinację”, a nie składnia odrębnych „wyrazów”, bowiem odwrócenie porządku formantów nie wywołuje oczekiwanej reakcji.

Obok nas – inteligencja zwierząt

Obserwacje zachowania zwierząt rodzą pytania, ujęte w tytule książki Fransa de Walla, *Bystre zwierzę. Czy jesteśmy dość mądrzy, żeby zrozumieć mądrość zwierząt?*⁴⁵. Osobnym problemem jest, czy zwierzęta mają interes (motyw), aby inteligentnie komunikować się z ludźmi. Hodowana przez US Navy białucha arktyczna (*Delphinapterus leucas*) o imieniu Noc przez cztery lata, zanim nie osiągnęła dojrzałości, próbowała naśladować dźwięki mowy opiekunów⁴⁶. Zwierzę należy do gatunku

⁴⁰ Por. *Thorndike's Intelligence Theory*, <https://managementmania.com/en/thorndikes-intelligence-theory>, dostęp: 15.03.2018.

⁴¹ Por. *Pavlov's typology*, https://en.wikipedia.org/wiki/Pavlov's_typology, dostęp: 15.03.2018.

⁴² Por. *Piaget's theory of cognitive development*, https://en.wikipedia.org/wiki/Piaget's_theory_of_cognitive_development, dostęp: 15.03.2018.

⁴³ W latach 1913–1917. Por. W. Köhler, *The Mentality of Apes*, New York 1925; *Sultan (chimpanzee)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Sultan_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sultan_(chimpanzee)), dostęp: 27.12.2017; *Wolfgang Köhler*, https://en.wikipedia.org/wiki/Wolfgang_Köhler, dostęp: 27.12.2017.

⁴⁴ T.N. Suzuki, D. Wheatcroft, M. Griesser, *Experimental evidence for compositional syntax in bird calls*, „Nature Communications” 2016, vol. 7, s. 10986.

⁴⁵ F. de Waal, *Bystre zwierzę. Czy jesteśmy dość mądrzy, żeby zrozumieć mądrość zwierząt?*, przeł. Ł. Lamża, Kraków 2016.

⁴⁶ *Luna, a wild whale, tries to communicate with humans a bit, well, creatively*, <https://www.youtube.com/watch?v=gNJ868xbt28>, dostęp: 12.11.2017.

społecznego, cechującego się intensywną komunikacją między osobnikami w stadzie. Nie był to jedyny gatunek walenia próbujący wokalizacji w obecności człowieka, a niektóre osiągnięcia orka i delfinów butlonosych w komunikacji dźwiękowej⁴⁷ i współpracy z człowiekiem są szokujące (np. celowe współdziałanie z rybakami podczas łowienia ryb)⁴⁸.

Uważane za objaw inteligencji zachowania narzędziowe zwierząt są dobrze udokumentowane m.in. w przypadku szympanсів. Uważa się, że mają one charakter lokalnej kultury materialnej, odrębnej u grup szympanсів izolowanych od siebie⁴⁹. Niektóre gatunki ptaków, szczególnie krukowatych, wykazują bogaty repertuar zachowań z użyciem doraźnie zdobytych narzędzi do rozwiązywania złożonych problemów. Znana jest z tego nowozelandzka wrona brodata (*Corvus moneduloides*). Motywacją jest uzyskanie nagrody lub zabawa. Zachowaniom tym można przypisać charakter inteligencji konkretnej, gdyż wrony nie stosują metody prób i błędów⁵⁰. Zaskakują inteligentne zachowania głowonogów, które w warunkach laboratoryjnych odkręcają pokrywki słoików, rzucają kamieniami do celów poza akwarium, uciekają z akwariów, pokonując złożone przeszkody, zaś w reakcjach międzyosobniczych demonstrują skomplikowany system komunikacji⁵¹.

⁴⁷ *The Story of One Whale Who Tried to Bridge the Linguistic Divide Between Animals and Humans*, <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/story-one-whale-who-tried-bridge-linguistic-divide-between-animals-humans-180951437/>, dostęp: 12.11.2017; S. Ridgway, *Spontaneous Human Speech Mimicry by a Cetacean*, „Current Biology” 2012, vol. 22 (20), s. 860–861.

⁴⁸ E. Preston, *Dolphins that work with humans to catch fish have unique accent*, „New Scientist Daily News”, 2.10.2017.

⁴⁹ Por. C. Boesch, D. Bombjaková, A. Boyette i in., *Technical intelligence and culture: Nut cracking in humans and chimpanzees*, „American Journal of Physiological Anthropology” 2017, vol. 163 (2), s. 339–355; S. Carvalho, D. Biro, W.C. McGrew i in., *Tool-composite reuse in wild chimpanzees (Pan troglodytes): archaeologically invisible steps in the technological evolution of early hominins?*, „Animal Cognition” 2009, vol. 12 (Suppl. 1), s. 103–114; N. Inoue-Nakamura, T. Matsuzawa, *Development of stone tool use by wild chimpanzees (Pan troglodytes)*, „Journal of Comparative Psychology” 1997, vol. 111 (2), s. 159–173; S. Yamamoto, T. Humle, M. Tanaka, *Basis for Cumulative Cultural Evolution in Chimpanzees: Social Learning of a More Efficient Tool-Use Technique*, „PLOS ONE” 2013, vol. 8 (1), e55768.

⁵⁰ Por. C.J. Logan, A.J. Breen, A.H. Taylor i in., *How New Caledonian crows solve novel foraging problems and what it means for cumulative culture*, „Learning & Behavior” 2015, vol. 44 (1), s. 18–28; J.J.H. St Clair, Z.T. Burns, E.M. Bettaney i in., *Experimental resource pulses influence social-network dynamics and the potential for information flow in tool-using crows*, „Nature Communications” 2015, vol. 6, s. 7197; B. Kenward, K. Rutz, A.A.S. Weir i in., *Morphology and sexual dimorphism of the New Caledonian Crow Corvus moneduloides, with notes on its behaviour and ecology*, „Ibis – International Journal of Avian Science” 2004, vol. 146, s. 652–660; J. Chappell, A. Kacelnik, *Tool selectivity in a non-mammal, the New Caledonian crow (Corvus moneduloides)*, „Animal Cognition” 2002, vol. 5 (2), s. 71–78; A.A.S. Weir, A. Kacelnik, *A New Caledonian crow (Corvus moneduloides) creatively re-designs tools by bending or unbending aluminium strips*, „Animal Cognition” 2006, vol. 9, s. 317–334; J.C. Holzhaider, M.D. Sibley, A.H. Taylor i in., *The social structure of New Caledonian crows*, „Animal Behaviour” 2011, vol. 81 (1), s. 83–92; G.R. Hunt, *Manufacture and use of hook-tools by New Caledonian crows*, „Nature” 1996, vol. 379, s. 249–251.

⁵¹ Por. *Cephalopods intelligence*, https://en.wikipedia.org/wiki/Cephalopod_intelligence; dostęp: 17.04.2018; *Octopus* – <https://en.wikipedia.org/wiki/Octopus>, dostęp: 17.04.2018; P.G. Smith, *The Mind of an Octopus*, „Scientific American”, 1.01.2017, <https://www.scientificamerican.com/article/the-mind-of-an-octopus/>, dostęp: 15.01.2018; B.U. Budelmann, *The cephalopod nervous system: What evolution has*

Za objaw inteligencji i ewolucyjny czynnik jej rozwoju uważane są także złożone zachowania społeczne zwierząt. Obserwacje tych zachowań zapoczątkowali Jane Lavick-Goodall i Dian Fossey. Spopularyzowali je Richard Wrangham i Dale Peterson⁵². Od 1982 roku obserwacje zachowań społecznych szympanów, słoni i kapucynek relacjonuje w swoich publikacjach Frans de Waal⁵³. Repertuar opisywanych zachowań obejmuje: nakłanianie do pomocy, organizowanie grup zadaniowych i koalicji w celu utrzymania lub przejęcia władzy w hierarchii społecznej stada, kłamstwo, markowanie współpracy, oczekiwanie i wymuszanie sprawiedliwego podziału nagrody lub zdobyczy. Zachowania te wskazują, że (przynajmniej niektóre) zwierzęta mają zdolność do rozpoznawania i rozumienia stanów mentalnych innych zwierząt (tzw. teoria umysłu). Zachowania wskazujące na obecność teorii umysłu i poczucia sprawiedliwości wykazują też psy, szczury i niektóre gatunki ptaków⁵⁴.

Szczególnym i nie do końca jasnym przypadkiem inteligentnych zachowań zwierząt jest obrzucanie kamieniami drzew (ang. *accumulative stone throwing behaviour*) przez szympansy, zaobserwowane na kilku odrębnych stanowiskach (Boé Guinea-Bissau, Sangaredi Guinea, Mt. Nimba Liberia, Comoé GEPRENAF Côte d'Ivoire), gdzie prowadzone są systematyczne badania⁵⁵. Zachowanie to nie występuje w kilku innych populacjach. Interpretuje się je jako rytuały protoreligijne – można też do nich zaliczyć taniec deszczu i taniec ognia⁵⁶.

made of the molluscan design, w: *The Nervous Systems of Invertebrates: An Evolutionary and Comparative Approach*, ed. O. Breidbach, W. Kutsch, Basel 1995.

⁵² R. Wrangham, D. Peterson, *Demonic samce. Małpy człekokształtne i źródła ludzkiej przemocy*, przeł. M. Auriga, Warszawa 1999.

⁵³ F. de Waal, *Bystre zwierzę...; tegoż, Bonobo i ateista. W poszukiwaniu humanizmu wśród naczelnych*, przeł. K. Kornas, Kraków 2018; tegoż, *Chimpanzee Politics. Power and Sex among Apes*, Baltimore 2000.

⁵⁴ J.J. Massen, C. Ritter, T. Bugnyar, *Tolerance and reward equity predict cooperation in ravens (Corvus corax)*, „Nature Science Reports” 2015, vol. 5, s. 15021; F. Range, L. Horn, Z. Viranyi i in., *The absence of reward induces inequity aversion in dogs*, „PNAS” 2009, vol. 106 (1), s. 340–345; A.P. Steiner, A.D. Redish, *Behavioral and neurophysiological correlates of regret in rat decision-making on a neuroeconomic task*, „Nature Neuroscience” 2014, vol. 17, s. 995–1002; L.J. Martin, G. Hathaway, K. Isbester i in., *Reducing social stress elicits emotional contagion of pain in mouse and human strangers*, „Current Biology” 2015, vol. 25 (3), s. 326–332; D.M. Broom, H. Sena, K.L. Moynihan, *Pigs learn what a mirror image represents and use it to obtain information*, „Animal Behaviour” 2009, vol. 78 (5), s. 1037–1041.

⁵⁵ H.S. Kühl, A.K. Kalan, M. Arandjelovic i in., *Chimpanzee accumulative stone throwing*, „Scientific Reports” 2015, vol. 6, s. 22219.

⁵⁶ R. Hooper, *What do chimpanzee 'temples' tell us about the evolution of religion?*, „New Scientist Daily News”, 4.03.2016, <https://www.newscientist.com/article/2079630-what-do-chimp-temples-tell-us-about-the-evolution-of-religion/>, dostęp: 15.03.2018; P.I. Ndiaye, S. Lindshield, O.K.M. Boyer i in., *Survey of chimpanzees outside of protected areas in southeastern Senegal*, „African Journal of Wildlife Research” 2018, vol. 67 (2), s. 130–159; J.D. Pruett, *Nocturnal behavior by a diurnal ape, the West African chimpanzee (Pan troglodytes verus), in a savanna environment at Fongoli, Senegal*, „American Journal of Physical Anthropology” 2018, vol. 66 (3), DOI: 10.1002/ajpa.23434, s. 541–548; J.A. Meguerditchian, A. Vuillemin, J.D. Pruett, *Identifying the Ape Beat in the Wild: Rhythmic Individual Signatures from the Sounds of Manual Fruit Cracking in Fongoli Chimpanzees*, https://www.researchgate.net/publication/324479818_Identifying_the_Ape_Beat_in_the_Wild_Rhythmic_Individual_Signatures_from_the_Sounds_of_Manual_Fruit_Cracking_in_Fongoli_Chimpanzees, dostęp: 27.08.2018.

Inteligencja – od komunikacji do rozmowy

Istotnym aspektem inteligencji abstrakcyjnej jest międzyosobnicza komunikacja symboliczna. Sygnalizacja semantyczna, której przykładem jest mowa (język mówiony i pisany), odróżnia się od prymitywniejszych form komunikacji (oznak, sygnałów, apeli asemanacyjnych): 1) symbolicznością/umownością, 2) artykulacją/członowaniem (zarówno słów, jak i wypowiedzi), 3) syntaktycznością/składniowością, 4) oderwaniem czasowo-przestrzennym (przemieszczeniem – refleksyjnością), 5) nieemocjonalnym charakterem, 6) produktywnością/generatywnością, 7) niegenetycznym przekazem.

Ze względów anatomicznych jedynie pewne gatunki ptaków mogą wytwarzać dźwięki ludzkiej mowy mówionej. W przypadku ssaków, szczególnie małp, możliwa jest komunikacja oparta na gestykulacji, jak ameslan (amerykański język głuchoniemych) lub syntetyczny język symboli graficznych – yerkish, prezentowany na planszach lub monitorach komputerowych⁵⁷. Chronologiczna lista prób obejmuje kolejno (podano okres eksperymentu, pominięte zostały eksperymenty na ssakach morskich, m.in. Louisa Hermana z delfinami: Akeakamai, Phoenix, Elele i Hiapo):

- Luella i Winthrop Kellogowie: szympanasy Gua i Donald (1930–1933) – próby uczenia mowy, rozumiane ok. 70 słów, nieudana próba wypowiedzenia słowa „papa”;
- Keith i Catherine Hayesowie: szympanasy Viki (1951–1952), werbalnie 4 proste słowa angielskie („papa”, „mama”, „cup”, „up”);
- David i Ann J. Premackowie: szympanasy Sarah (1962–1987) – 130 znaków yerkish, możliwe, że tryb oznajmujący, pytający, warunkowy; według Premacka Sarah opanowała implikację, negację, alternatywę, koniunkcję oraz kwantyfikatory;
- Alenn R. i Beatrix T. Gardnerowie oraz Roger S. Fouts: – szympanasy Washoe (1965–2007) – czynnie 150, biernie 350 znaków ameslan, wypowiedzi do 3 znaków, m.in. „woda-ptak” na określenie łabędzia, składnia: podmiot, dopełnienie, orzeczenie; szympanasy Moja i Piki – szybsze postępy niż u Washoe, trzyletnia Moja – 101 znaków, umiejętność rysowania na polecenie znaku „ptak”, szympanasy Lucy – 80 znaków ameslan i użycie kłamstwa (!);
- Duane Rumbaugh: szympanasy Lana (1970–1977) – 75 znaków yerkish;
- Francine Patterson i Eugene Linden: gorylice Koko (1972–2018) – rozumie mówiony angielski (2000 słów) i zwrótnie używa „gorilla sign language” – ok. 1000 (wg innych

⁵⁷ Wszystkie przytoczone przypadki referowane są pod imieniem zwierzęcia lub badacza, jako hasła angielskiej wersji Wikipedii, wraz z odsyłaczami do oryginalnych materiałów: *Gua (chimpanzee)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Gua_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gua_(chimpanzee)), dostęp: 25.10.2018; *Viki (chimpanzee)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Viki_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Viki_(chimpanzee)), dostęp: 25.10.2018; *Sarah (chimpanzee)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Sarah_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sarah_(chimpanzee)), dostęp: 25.10.2018; *Washoe (chimpanzee)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Washoe_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Washoe_(chimpanzee)), dostęp: 25.10.2018; *Lana (chimpanzee)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Lana_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lana_(chimpanzee)), dostęp: 25.10.2018; *Koko (gorilla)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Koko_\(gorilla\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Koko_(gorilla)), dostęp: 25.10.2018; *Nim Chimpsky*, https://en.wikipedia.org/wiki/Nim_Chimpsky, dostęp: 25.10.2018; *Kanzi*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Kanzi>, dostęp: 25.10.2018; *Panbanisha*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Panbanisha>, dostęp: 25.10.2018; *Alex (parrot)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Alex_\(parrot\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Alex_(parrot)), dostęp: 25.10.2018; *Rico (dog)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Rico_\(dog\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Rico_(dog)), dostęp: 25.10.2017.

- danych 375) znaków, poziom czteroletniego dziecka, wyraża emocje, żartuje;
- Herbert S. Terrace: szympanś Nim Chimsky (1973–2000) – 25 znaków (wg innych źródeł 125 – wątpliwe) ameslan, komunikacja wymuszana (słaba motywacja Nima);
 - Sue Savage-Rumbaugh: Panzee (*Pan troglodytes*) i Panbanisha (bonobo – *Pan paniscus*) (1985–2012) porównanie zdolności dwóch gatunków w yerkish; Kanzi (1980–2016) – yerkish komputerowy, obserwował komunikację z matką, spontanicznie opanował podstawy, ok. 1000 słów, transfer do młodszej siostry, także nauczony wykonywać narzędzia kamienne (ponad 270 obiektów);
 - Tetsuro Matsuzawa: szympansy Ayumu i Ai (2000–2007) – operowanie w pamięci krótkotrwałej liczbami naturalnymi i ich symbolami, komunikacja za pośrednictwem monitorów dotykowych⁵⁸;
 - Irene Pepperberg: afrykańska szara papuga Alex (1976–2007, 30 lat obserwacji) – mówiony angielski, minimum 100 słów wypowiedzianych, dwustronna komunikacja na tematy konkretne i emocjonalne, także rozumienie abstrakcyjnych symboli (np. liczb), poziom czteroletniego dziecka;
 - Susanne Grassmann, Juliane Kaminski, Michael Tomasello: Border collie Betsy – rozumie 360 pojęć, zna imiona 16 osób, rozumienie nowości⁵⁹;
 - Juliane Kaminski: Border collie Rico (1994 – 2008) – ponad 280 słów;
 - John W. Pilley, Alliston K. Reid: Border collie Chaser (2011–obecnie) – słownik bierny: 1022 słów⁶⁰.

Rozstrzygnięcie istnienia inteligencji zwierząt wydaje się raczej problemem stopnia (poziomu zdolności) niż obecności lub nieobecności.

Co napędza inteligencję?

Inteligencja nie jest niezbędna do ewolucyjnego sukcesu gatunku, a jej rozwinięcie może powodować znaczny i „zbędny” wydatek energetyczny i behawioralny. Pozbawione inteligencji robaki płaskie i obłe mają się świetnie, płacąc za sukces ewolucyjny hekatombą utraconego potomstwa i złożonymi cyklami rozrodczymi. Dla badaczy inteligencji istotnym jest pytanie, jakie czynniki biologiczne sprzyjają lub wymuszają rozwój inteligencji. Czynniki sprzyjającymi są: strategia rozrodcza K (mała liczba potomstwa), długowieczność pozwalająca na długotrwałe gromadzenie informacji o otaczającym świecie (powiązana ze sprawną pamięcią długotrwałą) i społeczny transfer zdobytej wiedzy o świecie. Liczni autorzy wiążą te cechy z neotenią, zjawiskiem w rozwoju osobniczym polegającym

⁵⁸ T. Matsuzawa, *The Ai project: Historical and ecological contexts*, „Animal Cognition” 2003, vol. 6 (4), s. 199–211.

⁵⁹ S. Grassmann, J. Kaminski, M. Tomasello, *How two word-trained dogs integrate pointing and naming*, „Animal Cognition” 2012, vol. 15 (4), s. 657–665.

⁶⁰ J.W. Pilley, A.K. Reid, *Border collie comprehends object names as verbal referents*, „Behavioural Processes” 2011, vol. 86, s. 184–195.

na zachowaniu części cech młodocianych w późnych okresach rozwoju lub osiągnięciu zdolności rozrodczej przed osiągnięciem pełnej dojrzałości fizjologicznej i społecznej.

Wyjaśnienie genezy inteligencji odwołuje się do licznych czynników, a obrazowe porównania pozwalają potraktować inteligencję jako⁶¹:

- „Dar Stwórcy” – według Alfreda Russela Wallace’a (1823–1913) – gdyż jest zbyt skomplikowana, aby powstać w wyniku ewolucji⁶²;
- „Dryfującą belkę inteligencji w morzu przypadkowych mutacji” – według Stephena Jaya Goulda „przypadało się przez przypadek, bo było pod ręką”, jako wynik przypadkowych mutacji, i jest kolejnym przykładem narastającej neotenui w rozwoju hominidów;
- wynik zbawienny uderzenia cieplnego u upornego łowcy – według Konrada Fiałkowskiego (1978)⁶³, przyjmującego, że nadmiarowość mózgu chroni go od skutków wyłączenia podczas przegrzania, które towarzyszy intensywnym wysiłkom na słońcu sawanny, ubocznie dając inteligencję. Koncepcja ta wiąże się z typową dla ludzi utratą owłosienia, termoregulacyjnym poceniem wysiłkowym na powierzchni ciała i hipotezą człowieka jako wytrwałego łowcy⁶⁴;
- hipotezę inteligentnego łowcy społecznego – według Raymonda Darta w powiązaniu z hipotezą mięsożernej małpy – łowcy („man the hunter”) Richarda Ardreya. Pojawia się jednak trudne pytanie, dlaczego beneficjentami ekstremalnie rozwiniętej inteligencji nie są wilki, hieny i mrówki;
- hipotezę znudzonego oszczepnika – według Williama Calvina⁶⁵, który zakłada, że „mózg z nudów cyzeluje inteligencję, gdy nie rzuca do celu”, tzn. w danej chwili nie korzysta z narzędzi (w tle kryje się zdolność do manipulacji – czynności wykonywanych rękami, a nie np. trąbą, jak u słonia) [oryg.: „Intelligence is what we do when we don’t know what to do”];
- hipotezę homo faber – jej zwolennikami są funkcjonałści ewolucyjni, np. Kenneth Oakley, wskazujący na sprzężenie zwrotne dodatnie związane z używaniem narzędzi⁶⁶;
- hipotezę kosztownych narządów – konfliktu „mózg albo żołądek” – upatrującą przyczynę w zmianie diety, wynikającej z opanowania i użycia ognia. Lepsza strawność

⁶¹ Znaczną część tych przykładów przywołuje Matt Ridley w książce *Czerwona królowa*, przeł. J.J. Bojarski, A. Milos, Poznań, 1999, głównie s. 347. Por. także: K. Oakley, *Man the Toolmaker*, London 1951, s. 349; R.A. Dart, *The predatory transition from ape to man*, „International Anthropological and Linguistic Review” 1953, nr 1.4, s. 351; S.J. Gould, *The mismeasure of man*, New York 1994, s. 358; R.D. Alexander, *The evolution of social behavior*, „Annual Review of Ecology and Systematics” 1974, vol. 5 (1), <http://courses.washington.edu/ccab/Alexander1974.pdf>, dostęp: 18.12.2018, s. 325–383; N. Humphrey, *Social function of intellect*, w: *Growing Points in Ethology*, ed. P.P.G. Bateson, R.A. Hinde, Cambridge 1976; s. 363; R. Ardey, *The Hunting Hypothesis*, New York 1976.

⁶² Mówi to współtwórca ewolucjonizmu (!).

⁶³ K.R. Fijałkowski, *Lack of water and endurance running could have caused the exponential growth in human brain. ‘Point of no return’ model*, s. 1–9, <https://arxiv.org/pdf/1312.540>, dostęp: 18.12.2018; K.R. Fijałowski, T. Bielicki, *Homo przypadkiem sapiens*, Warszawa 2008.

⁶⁴ D. Morris, *Naga małpa*, przeł. T. Bielicki, J. Koniarek, J. Prokopiuk, Warszawa 1974.

⁶⁵ W.H. Calvin, *How Brains Think: Evolving Intelligence*, New York 1996.

⁶⁶ K. Oakley, *Man the Toolmaker...*

i łatwiejsze przyswajanie energii z obrobionych termicznie pokarmów pozwala zredukować czas żerowania i trawienia. Daje zysk czasu i energii na inne czynności i na rozwój energochłonnego mózgu, co dodatkowo wzmacnia konieczność używania tegoż mózgu. Zgadza się to z zasadą alokacji energii⁶⁷. Znaczenie ma także mięsna dieta („Man the Hunter”)⁶⁸;

- hipotezę sprzężenia ze społecznym trybem życia i komunikacją – ewolucją memetyczną – odnoszoną do poglądów Noama Chomskiego, Stevena Pinkera, Paula Blooma oraz Susan Blackmore⁶⁹ i Robina Dunbara⁷⁰. Informacja społeczna, plotki i w ogóle memy szerzące się i konkurujące darwinowsko „o mózgi” promują mózgi lepszych nosicieli memów i vice versa⁷¹;
- hipotezę makiawelicznej inteligencji – według Richarda Alexandra⁷² i Nicolasa Humpreya⁷³ inteligencja jest narzędziem oszustwa promowanym przez interakcje społeczne⁷⁴ (także R. Dunbar), co ilustrują słowa lorda Thomasa Babingtona Macaulaya (1800–1859): „głównym celem przyświecającym ludzkiej mowie nie jest głoszenie prawdy, lecz przekonywanie”⁷⁵, pod czym podpisałby się z pewnością psycholog Robert Cialdini, specjalizujący się w badaniach nad manipulacją;
- hipotezę pawiego ogona i efekt Zahawiego (zasada handikapu)⁷⁶, spopularyzowane przez Geoffreya Millera – nawiązujące do perswazji i korzystnej, inteligentnej autoprezentacji wobec potencjalnych partnerów i konkurentów w doborze płciowym. Co można skrócić w zdaniu „on tak cudnie czaruje!”, bywa zwane efektem Szeherazady lub efektem Dionizosa. Oczywiście autoprezentacja i konkurencja na „lepsze myślenie” pociąga za sobą koszty i wymaga zasobów, ale też napędza postęp cywilizacyjny. Poglądy części memetyków są zbieżne z tą ideą⁷⁷.

⁶⁷ Por. C.S. Dewar, M.R.C. Psych, *Enhanced nutrition of offspring as a crucial factor for the evolution of intelligence on land*, „Medical Hypotheses” 2004, vol. 62 (5), s. 802–807; L.C. Aiello, P. Wheeler, *The Expensive-Tissue Hypothesis: The Brain and the Digestive System in Human and Primate Evolution*, „Current Anthropology” 1995, vol. 36 (2), s. 199–221; L.C. Aiello, *Brains and guts in human evolution: The Expensive Tissue Hypothesis*, „Brazilian Journal of Genetics” 1997, vol. 20 (1), s. 141–148; R. Wrangham, *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*, London 2009.

⁶⁸ Por. R. Ardey, *The Hunting Hypothesis...*; S.L. Washburn, C. Lancaster, *The evolution of hunting*, w: *Man the Hunter*, ed. R.B. Lee, Chicago 1968, s. 293–303.

⁶⁹ S. Blackmore, *Maszyna memowa...*

⁷⁰ R.I.M. Dunbar, *The social brain hypothesis*, „Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews” 1998, vol. 6 (5), s. 178–190.

⁷¹ T. David-Barrett, R.I.M. Dunbar, *Processing Power Limits Social Group Size: Computational Evidence for the Cognitive Costs of Sociality*, „Proceedings of the Royal Society B” 2013, vol. 280 (1765), s. 20131151.

⁷² R.D. Alexander, *The evolution of social behaviour...*

⁷³ N. Humprey *Social function of intellect...*

⁷⁴ M.V. Flinn, D.C. Geary, C.V. Ward, *Ecological dominance, social competition, and coalitionary arms races: Why humans evolved extraordinary intelligence*, „Evolution and Human Behavior” 2005, vol. 26 (1), s. 10–46.

⁷⁵ T. Babington Macaulay, *Works*, vol. XI, *Essay on the Athenian orators*, 1851. Cyt. za: M. Ridley, *Czerwona królowa...*

⁷⁶ Por. *Handicap principle*, https://en.wikipedia.org/wiki/Handicap_principle, dostęp: 17.11.2017; G. Miller, *Umysł w zalotach. Jak wybory seksualne kształtowały naturę człowieka*, przeł. M. Koraszewska, Poznań 2004.

⁷⁷ S. Blackmore, *Maszyna memowa...*, s. 44, 53, 58–59, 62, 120, 171, 176, 182, 208–223.

Można spodziewać się rychłej syntezy powyższych poglądów, wiążącej je z interpretacją paleontologicznych i historycznych artefaktów, świadczących o rozwoju ludzkiej inteligencji, oraz z wynikami zoologicznych badań porównawczych. Żadna z tych koncepcji nie eliminuje proponowanej tu definicji inteligencji.

Ostatnio wielu naukowców sugeruje istnienie odrębnych inteligencji, na które dotychczas nie zwracano dostatecznej uwagi ze względu na przestrzenną i czasową skalę objawów ich istnienia. Jedną z nich ma być m.in. inteligencja roślin tworzących kooperujące zbiorowiska roślinne. Na poparcie tej tezy przywoływane są spektakularne zdolności roślin do reagowania na różnorodne bodźce środowiska. Z reguły są one bardzo opóźnione, co wskazuje na istnienie roślinnej pamięci długotrwałej. Równocześnie wykazano, że reakcje różnych drzew są zintegrowane dzięki komunikacji poprzez sieć korzeni i grzybnię, sięgającą na odległości wielu setek metrów⁷⁸. U niewyrobionych obserwatorów stwarza to wrażenie celowego, świadomego działania intencjonalnego. Te kontrowersyjne idee dają się zredukować do wyniku ewolucyjnego doboru naturalnego. Własności roślin stanowiące podstawę tych koncepcji są konieczne jako czynniki inteligencji, ale niewystarczające do jej wystąpienia i potwierdzenia, a przynajmniej inteligencji w sensie dyskutowanym wcześniej i krytycznym wobec postulatu Wissnera-Grossa.

Co musi inteligencja?

Na inteligentne przetwarzanie informacji musi się składać wiele możliwych do operacjonalizacji i pomiaru własności układu nerwowego. „Inteligencja musi”: 1) spostrzegać – odbierać i przetwarzać selektywnie bodźce ze środowiska, 2) tworzyć i posługiwać się symbolami obiektów, 3) uczyć się i pamiętać, 4) mieć motywacje, w tym mieć motywacje orientacyjne – być ciekawą „bezinteresownie”, 5) kojarzyć, a w ramach kojarzenia posługiwać się operatorami logicznymi, 6) bazować na logice (kantowskiej lub rozmytej), 7) modelować relacje między spostrzeżeniami, 8) prognozować, 9) wykrywać błędy prognozowania, 10) komunikować się z innymi inteligencjami, 11) nowatorsko, niestereotypowo i niedziedzicznie kierować adaptacją, czyli selekcjonować realizowane prognozy, 12) być autorefleksyjną (identyfikować własny stan), 13) identyfikować stan innych inteligencji (mieć teorię umysłu).

Ocena „siły” inteligencji odwołuje się do: 1) ilości informacji zamagazynowanej i dostępnej do przetwarzania, 2) szybkości przetwarzania informacji (przepływu wejście

⁷⁸ M. Cagliano, M. Renton, M. Depczynski i in., *Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters*, „Oekologia” 2014, vol. 175, s. 63–72; F. Cvrčková, H. Lipovská, V. Žórský, *Plant intelligence. Why, why not or where*, „Plant Signalling and Behavior” 2009, vol. 4–5, s. 349–399; P. Wohlleben, *Sekretne życie drzew*, przeł. E. Kochanowska, Kraków 2016; T. Trewavas, *Plant Intelligence: An Overview*, „BioScience” 2016, vol. 66 (7), s. 542–551; S.H. Buhner, *Plant Consciousness: The Fascinating Evidence Showing Plants Have Human Level Intelligence, Feelings, Pain and More*, <https://www.consciouslifestylemag.com/plant-consciousness-intelligence-feeling/>, dostęp: 20.04.2018; C.R. Reid, T. Latty, A. Dussutout i in., *Slime mold uses an externalized spatial “memory” to navigate in complex environments*, „PNAS” 2012, vol. 109 (43), s. 17490–17494.

– wyjście)⁷⁹, 3) złożoności związków przyczynowo-skutkowych (liczby rozgałęzień drzewa decyzyjnego), 4) operacji logicznych, 5) zgodności prognoz z następstwami (minimalizacja różnicy wejście – wyjście dla stanu rzeczywistości i stanu modeli tworzonych przez inteligencję, co jest istotą rozwiązywania problemów), 6) trwałości skutków informatycznych przetwarzania informacji, 7) trwałości systemu przetwarzającego informację (homeostazą) jako wyniku przetwarzania informacji, w tym także „trwałości ciągniętej na systemy oboczne” (sprężenie zwrotne), 8) minimalizacji kosztów – maksymalizacji zysków (uzyskanej trwałości).

Założenia te są podstawą informatycznych i komputacyjnych teorii umysłu i inteligencji i znajdują odwzorowanie w formalnych i graficznych modelach. Kluczowe wydaje się przy tym przesłanie (kojarzenie – sumowanie pobudzeń nerwowych) w sieci neuronalnej (BI) lub informatycznej (AI). Pojemność informacyjna systemu/sieci neuronalnej, czyli liczba stanów, które może przyjąć inteligentna sieć przetwarzająca informację i możliwość ich wyboru (zmiany) jest modelowana (!) z odwołaniem do koncepcji jednostek gnostycznych⁸⁰. Jeden z takich modeli przedstawił Joe Tsien jako *theory of connectivity* (w swobodnym tłumaczeniu „teorię zdolności/pojemności połączeń”)⁸¹. W modelu tym, jeśli jeden element sieci (węzeł – „neuron” – jednostka gnostyczna) przyjmuje w jednostce czasu (taktowanie – rytm) dwa stany, to sieć np. czterech elementów w warunkach kodowania topograficzno-częstotliwościowego może przyjąć liczbę stanów co najmniej równą liczbie kombinacji z powtórzeniami (z uwzględnieniem kolejności elementów), zatem:

$$I > V_n^k = 2^n \text{ stanów (wariacja z powtórzeniami)} \dots \dots \dots I \geq 2^n - 1$$

Zdaniem Tsiena i współpracowników, w sieci neuronalnej powstają zgrupowania („kliki” – *cliques*) neuronów, w których indywidualny system połączeń (*functional connectivity motifs* – FCM) decyduje o tym, że każda z nich odpowiada na jeden tylko rodzaj bodźca (jedną kombinację bodźców)⁸². Przy liczbie neuronów typowej dla człowieka (86 mld) i średniej liczbie połączeń jednego neuronu z innymi neuronami (10 tys.) daje to niewyobrażalne liczby kombinacji możliwych stanów, nawet po odrzuceniu stanów technicznie i biologicznie niemożliwych lub absurdalnych. Tsien argumentuje, że „losowy” niezdeeterminowany wzór łączenia się neuronów w drugiej i trzeciej kojarzeniowej warstwie kory mózgu w powiązaniu ze sztywno predeterminowanym wzorcem łączenia neuronów

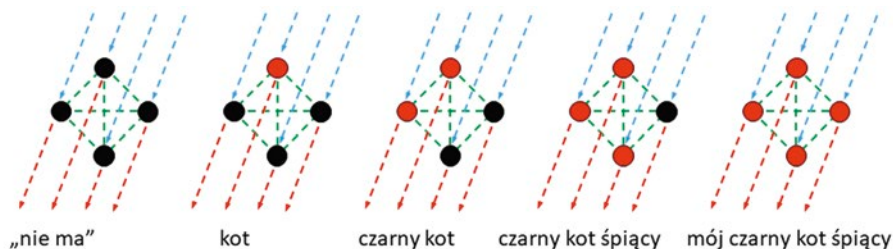
⁷⁹ S. Lehl, B. Fischer, *The basic parameters of human information processing: Their role in the determination of intelligence*, „Personality and Individual Differences” 1988, vol. 9 (5), s. 883–896.

⁸⁰ R.Q. Quiroga, *Gnostic cells in the 21st century*, „Acta Neurobiologiae Experimentalis” 2013, vol. 73, s. 463–471.

⁸¹ J.S. Tsien, *A Postulate on the Brain's Basic Wiring Logic*, „Trends in Neuroscience” 2015, DOI: 10.1016/j.tins.2015.09.002.

⁸² K. Xie, G.E. Fox, J. Liu i in., *Brain Computation Is Organized via Power-of-Two-Based Permutation Logic*, „Frontiers in Systems Neuroscience” 2016, vol. 10, s. 95; T. Baker, *Artificial Intelligence. The Power of Two: Neural Cliques Provide a Prewired Framework For How Neurons Connect*, „Neuroscience News”, 22.10.2015.

w warstwie piątej i szóstej (komunikacyjnej – dalekodystansowej) jest rozwiązaniem optymalnym. Daje bowiem odpowiednio: swobodę kojarzenia i jednoznaczną interpretację docierających bodźców i komend.



Ryc. 3. Koncepcja przetwarzania informacji zbliżona do *Theory of Connectivity* Joe Z. Tsien (2015). Punkty obrazują węzły (kliki) neuronalne w stanie wyłączonym lub aktywnym, linie reprezentują uproszczoną sieć połączeń – kierunki przekazywania informacji (bez uwzględnienia wagi – przepustowości połączeń)

Z komputacyjną teorią inteligencji Tsien koresponduje komputacyjna teoria umysłu i świadomości prezentowana przez Giulio Tononiego, Christopha Kocha i ich kolegów. Tononi nazywa ją Teorią Zintegrowanej Informacji (ang. *Integrated Information Theory* – IIT)⁸³. W jej rozumieniu świadomość jest informacją o organizacji informacji w częściach systemu – mózgu, zajmujących się różnymi aspektami przetwarzania informacji, w tym spostrzeganiem, reagowaniem, motywacjami, emocjami, pamięcią itp. Świadomość można opisać jako proces integracji informacji, w odniesieniu do którego ponownie pojawia się kluczowe pojęcie entropii informacyjnej, istotne także w ujęciu inteligencji proponowanym przez Wissnera-Grossa. Odpowiednie równanie jest rozwiniętym równaniem entropii informacyjnej Shannona zastosowanym do warunkowego prawdopodobieństwa zajścia zdarzeń.

$$ei(x_1; P) = - \sum_{i=1}^k \sum_{\mu_0^{(i)}} p(\mu_0^{(i)} | x_1) \cdot \log p(\mu_0^{(i)} | \mu_1^{(i)}) - H\{X_0 | x_1\}$$

$$\Phi(x_1) = \min_p \frac{ei(x_1; P)}{v_p}$$

gdzie:

ei – informacja efektywna,

Φ – synergia systemu – miara integracji informacji, powiązania i uporządkowania informacji,

⁸³ D. Balduzzi, G. Tononi, *Integrated Information in Discrete Dynamical Systems: Motivation and Theoretical Framework*, „PLoS Computational Biology” 2009, vol. 4/6, e1000091; G. Tononi, *Consciousness as Integrated Information: A Provisional Manifesto*, „Biological Bulletin” 2008, vol. 215 (3), s. 216–242; C. Koch, A. „Complex” Theory of Consciousness. Is complexity the secret to sentience, to a panpsychic view of consciousness?, „Scientific American” 1.07.2009.

p – prawdopodobieństwo,

H – entropia informacyjna systemu, tu prawdopodobieństwo warunkowe (Bayesowskie), że system X_0 przyjmie wybrany stan x_i ,

M i μ – części systemu w rozważaniach *a posteriori*,

X, S , itd. – zbiór stanów systemu X i podsystemów,

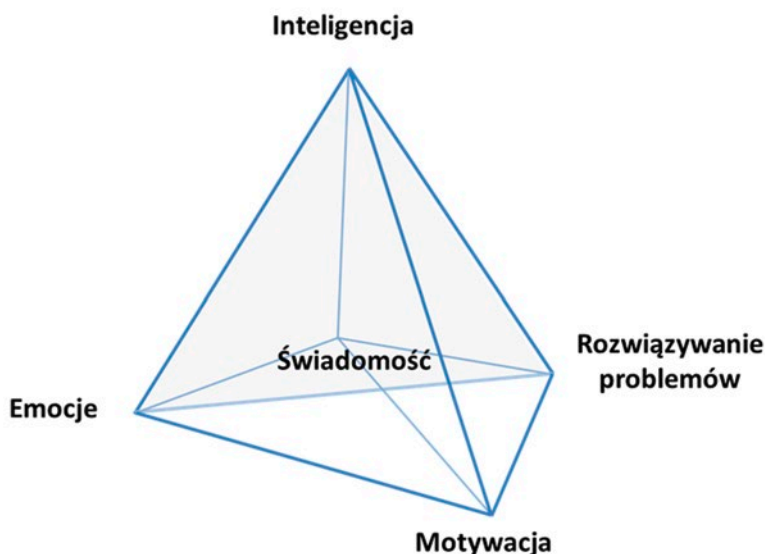
x_i – wybrany stan i -ty,

indeks dolny $0, 1, \dots$ – wskaźnik czasu t ,

$p(\dots)$ – odpowiednie prawdopodobieństwo zdefiniowane przez notację w nawiasie – rozpatrywane *a priori* oraz *a posteriori*,

$H(p^{\max}(X_0))$ – entropia maksymalna systemu *a priori*.

Komputacyjne teorie inteligencji i świadomości nie kolidują z dyskutowaną definicją inteligencji.



Ryc. 4. Model powiązań między głównymi funkcjami kognitywnymi współzależnymi w tworzeniu inteligencji i świadomości

Niepokojące jest pytanie, czy może istnieć inteligencja pozbawiona świadomości i innych „władz umysłowych”. Wgląd w problem dają opisy zespołu zamknięcia (*lock in syndrome*), zespołu minimalnej świadomości (*minimal conscious state*), stanów pomrocności jasnej i ciemnej oraz działania środków znieczulających/usypiających w praktyce anestezjologicznej. Można przyjąć, że spostrzeganie, pamięć, emocje i motywacje oraz reaktywność z „inteligentnym rozwiązywaniem problemów” są nieodzownymi i wzajemnie powiązanymi składnikami inteligencji i świadomości (w dyskutowanym tu znaczeniu).

W takim ujęciu system Samoświadomej Inteligencji Biologicznej musiałby się składać z dających się doświadczalnie wyodrębnić procesów, takich jak:

- **motywacja** – wykrywanie różnicy między stanem zadany a istniejącym lub prognozowanym na podstawie pamięci – przewidywanie zaburzeń homeostazy, przewidywanie błęd;
- **emocje** – wartościowanie (zysk/strata) i etykietowanie stanów systemu istniejących lub prognozowanych;
- **rozwiązywanie problemów** (reakcje inteligentne) – minimalizowanie różnic funkcji wejście – wyjście dla realnych obiektów lub ich modeli informatycznych, zarazem zachowanie homeostazy (w sytuacjach niestandardowych, nowych);
- **inteligencja** – funkcja sieci neuronalnej kontrolującej i optymalizującej sieci neuronalne rozwiązujące problemy (minimalizacja różnic funkcjonowania podsieci);
- **świadomość** – identyfikacja relacji między powyższymi procesami z udziałem pamięci (ponownie polegająca na wykrywaniu i minimalizacji różnic).

Niedoskonałym modelem graficznym relacji między tymi funkcjami byłby czterościan, z którego wierzchołków wychodziłyby sieczne, zbiegające się w centrum odpowiadającym świadomości (notabene można wyobrazić sobie transformacje zmieniające wygląd figury, ale nie zmieniające powiązań). Jeśli to ujęcie jest poprawne, zasadniczy schemat połączeń w układach inteligentnych powinien bazować na tym modelu.

Spotkanie z obcymi inteligencjami

Kontakty między człowiekiem a gatunkami zwierząt cechującymi się wysoką inteligencją i wykazującymi objawy świadomości obciążane są emocjami i rodzą problemy bioetyczne. Domeną fantastyki naukowej jest przewidywanie skutków kontaktu z inteligencją obcych cywilizacji kosmicznych. Historia dostarcza modelowych opisów skutków kontaktu inteligencji reprezentujących obce, odrębnie rozwijające się kultury, mające podobne wymagania środowiskowe. Prognozy zakładające rozwój sztucznej samoświadomej inteligencji (AGI) każą zastanowić się nad możliwymi scenariuszami jej współistnienia z ludzką inteligencją (BI). Pomijając bogatą fantastykę naukową, rozważyć można dwa scenariusze znane w ekologii.

Pierwszy z nich to scenariusz konkurencji o niszę ekologiczną Gieorgija F. Gausego (1934)⁸⁴. Jego podstawą jest założenie, że dwie formy inteligencji rywalizują o dostęp do tych samych zasobów: energii, przestrzeni oraz informacji. Wynikiem takiej konkurencji jest eliminacja jednego z konkurentów przez drugiego, który jest sprawniejszym eksploatatorem środowiska i wykazuje większy potencjał biotyczny, wyrażający się głównie w zdolności rozrodu (kopiowania). Ta forma interakcji „międzygatunkowej” jest bardziej mordercza od drapieżnictwa i pasożytnictwa, w których żywotność agresora

⁸⁴ *Zasada Gausego*, https://pl.wikipedia.org/wiki/Zasada_Gausego, dostęp: 29.12.2017.

jest limitowana przez przeżywalność ofiary. Znany, „szkolny” przykład stanowi hodowla dwóch gatunków pantofelków (*Paramecium aurelia* i *Paramecium caudatum*). We wspólnie zajmowanym naczyniu i warunkach „dostatku” jeden z gatunków doprowadza do całkowitej eliminacji drugiego. Współcześnie dramatycznym przykładem są gatunki inwazyjne, wypierające gatunki rodzime. Ukuta na tego typu obserwacjach zasada Gausego stwierdza: jedna nisza – jeden gatunek. Niewykluczone, że skutkiem konkurencji jest „zniknięcie” *Homo neandertalis* i innych gatunków homonidów, których niszę i rolę w świecie przejął *Homo sapiens*.

Drugi scenariusz, wywodzący się z ewolucjonizmu, to endosymbioza, analogiczna do hipotetycznej endosymbiozy protobiontów, zaproponowanej przez Lynn Margulis (1970)⁸⁵. W wyniku endosymbiotycznego „złania” i zintegrowania się komórek prokariotów (różnych bezjądrowych bakterii) rozwinęły się znacznie bardziej wszechstronne komórki eukariotyczne. Dały one początek eksplozji wszystkich posiadających jądro jedno- i wielokomórkowych organizmów. W komórkach tych organizmów dawne, samodzielne prokarioty wyewoluowały w wyspecjalizowane i w pewnym stopniu samodzielne organella (mitochondria, plastidy, rzeski, jądro komórkowe).

Historycznie weryfikowalne wyniki spotkań wzajemnie obcych inteligencji ludzkich bywają spektakularne. Jako ilustracje mogą posłużyć: USS „Arizona” zniszczona podczas japońskiego ataku na Pearl Harbour (7 XII 1941), grzyb atomowy nad Hiroszimą (6 VIII 1945), Auschwitz i Auschwitz Birkenau (1940–1945) oraz Berlin w maju 1945, płonące wieże World Trade Center (11 IX 2000), *Krótki opis zniszczenia Indii [Wschodnich]* autorstwa Bartolome’a de las Casasa (Sevilla 1552), losy średniowiecznych cywilizacji afrykańskich zniszczonych przez islam i Europejczyków⁸⁶, *El Quemadero del Marrubial de La Santa Inquisición*⁸⁷ i moraskowie, zdobycie Jerozolimy przez krzyżowców (1098), oraz... być może Unia Europejska (?), ONZ (?), idea ekumenizmu itp. Zapewne warto zadać sobie trud poszukiwania dobrych, krzepiących przykładów. Przytoczone sytuacje wskazują, jak bardzo inteligentne zachowania ludzi uzależnione są od motywacji i emocji. Błądność i dramatyczne konsekwencje inteligentnego modelowania nie są jednak argumentem falsyfikującym proponowaną definicję inteligencji.

Sztuczna inteligencja i sztuczna świadomość – ewolucyjny przypadek czy fizykalna konieczność?

Tempo rozwoju systemów sztucznej inteligencji jest tak wielkie, że każda tradycyjna próba inwentaryzacji jej postępu i zastosowań traci aktualność w czasie kilku miesięcy⁸⁸.

⁸⁵ Teoria endosymbiozy, https://pl.wikipedia.org/wiki/Teoria_endosymbiozy, dostęp: 27.12.2017.

⁸⁶ B. Davidson, *Stara Afryka na nowo odkryta*, przeł. E. Werfel, Warszawa 1972.

⁸⁷ P. Muñoz, *Notas Cordobesas*, <http://notascordobesas.blogspot.com>, dostęp: 26.01.2018.

⁸⁸ P. Łaszczycza, *Człowiek i jego maszyny. Operatorzy i protezy*, „Filo-Sofija” 2017, nr 39, <http://www.filo-sofija.pl/index.php/czasopismo/article/view/1153/1125>, dostęp: 18.12.2018, s. 49–64.

Często powtarzane prognozy zapowiadają powstanie sztucznej silnej inteligencji (AGI) w ciągu najbliższych 20 lat. Zakłada się, że będzie ona w wyniku intencjonalnych działań człowieka. Będące podstawą AI cybernetyczne sieci neuronowe są jednak [!] systemami samoorganizującymi i, co więcej, są już projektowane lub „edukowane” przez inne sieci neuronowe. Działa tak np. system NASNet, trenowany przez system AutoML, a przeznaczony do rozpoznawania obrazu⁸⁹. Powoduje to, że człowiek nie ma pełnej wiedzy o działaniu systemów AI.

Jeśli prawdziwe jest założenie, że inteligencja jest funkcją samoorganizujących się sieci przetwarzania informacji, nie można wykluczyć, że samoświadoma inteligencja rozwinie się niezależnie od woli człowieka. Twórcy dwóch różnych systemów: robota wszędolaza Hectora (2015)⁹⁰ oraz robotów towarzyszących Nao (2015)⁹¹, zastrzegają się co prawda, że ich produkty są zombie, tym niemniej przechodzą one testy na samoświadomość (test lustra Gallupa, zadanie trzech mędrców kolorowych kapeluszach oraz inne objawy autorefleksyjności). Zachowania te można zaprojektować w opisywanych przez autorów krokach programowania. Co znamienne, w przypadku Hectora funkcja symulująca świadomość jest czynnością dodatkowej sieci neuronowej kontrolującej cztery inne sieci, wykonujące algorytmy (heurystyki?) związane z organizacją ruchu i wyborem drogi.

Biorąc te doniesienia pod uwagę i przyjmując, że sztuczna inteligencja (AI) i świadomość jest wynikiem selekcji, można zastanawiać się, czy równie dobrze wyewoluować mogłaby sztuczna głupota (AS) albo sztuczny autyzm (AA). Nawet jeśli tezy te brzmią śmiesznie, część specjalistów dostrzega potencjalne zagrożenie w konfrontacji ludzkiej BI z elektroniczną lub kwantową (?) AI. Pomijając bardziej fantastyczne aspekty, portal Futurism zauważa, że NASNet może zostać wykorzystany jako zautomatyzowana sieć inwigilacji⁹². Komunikacja elektroniczna między ludźmi jest już inwigilowana przez elektroniczne systemy bezpieczeństwa i elektroniczne systemy szpiegowskie. Rozgrywająca się na przełomie roku 2017 i 2018 afera Facebooka i Cambridge Analytica⁹³ utwierdza w przekonaniu o realności zagrożeń. W przypadku tym łatwo dostępna informacja o osobistych upodobaniach użytkowników Internetu została użyta (jak wszystko wskazuje) do mikrotargetowania⁹⁴ informacji i manipulowania nastrojami wyborców.

⁸⁹ B. Zoph, V. Vasudevan, J. Shlens i in., *Learning Transferable Architectures for Scalable Image Recognition*, 2017, <https://arxiv.org/abs/1707.07012>, dostęp: 18.12.2018.

⁹⁰ H. Cruse, M. Schilling, *Mental States as Emergent Properties. From Walking to Consciousness*, „Open MIND” 2015, vol. 9.

⁹¹ S. Bringsjord, J. Licato, N.S. Govindarajulu i in., *Real Robots that Pass Human Tests of Self-Consciousness*, http://kryten.mm.rpi.edu/SBringsjord_et_al_self-con_robots_kg4_0601151615NY.pdf, dostęp: 18.12.2018.

⁹² D. Galeon, *Google's Artificial Intelligence built an AI that outperforms any made by humans*, <https://futurism.com/google-artificial-intelligence-built-ai>, dostęp: 18.12.2018.

⁹³ *Cambridge Analytica*, https://en.wikipedia.org/wiki/Cambridge_Analytica, dostęp: 17.04.2018.

⁹⁴ *Microtargeting*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Microtargeting>, dostęp: 17.04.2018.

Chiński pokój Davida Chalmersa i inne pożytki z zadaniowej AI

Liczba zastosowań sztucznej inteligencji zadaniowej uniemożliwia ich związane scharakteryzowanie⁹⁵.

Mechanizmy działania internetowego systemu Google Translate⁹⁶ stanowią swoistą korektę jednej z nośnych analogii służących do zobrazowania problemu świadomości i inteligencji, tzw. problemu chińskiego pokoju⁹⁷, który sformułował David Chalmers. Najnowsza wersja Google Translate trzeciej generacji, dostępna dla 99% użytkowników Internetu, obsługuje 103 języki. Oparta jest na sieciach neuronowych i uczeniu maszynowym, więc system „samodzielnie” modyfikuje swoje działanie. Administratorzy twierdzą, że Google Translate stosuje algorytmy stworzone podczas translacji w językach jednej grupy językowej (koreański, japoński, chiński) do doskonalenia tłumaczenia w innych, lingwistycznie odległych językach (turecki). Stwarza to wrażenie tworzenia wymarzonego modelu uniwersalnego języka – „interlingua”.

Wielkie postępy dokonane zostały w dziedzinie identyfikacji obrazu. Najnowsze algorytmy komputerowe identyfikują obrazy, używając mechanizmów symbolicznych na zasadach opisanych przez Davida Wiesela i Thorstena Hubela w odniesieniu do percepcji wzrokowej ssaków. Programy te potrafią też zwrotnie odtwarzać obraz z dużą dokładnością⁹⁸.

Wielkim testem sztucznych inteligencji zadaniowych są gry strategiczne. Ilustracją jest kalendarium rozgrywek przeciwko najlepszym światowym graczom w szachy, go i pokera.

Szachy⁹⁹

- 1996 – komputer i program IBM: „Deep Blue” kontra Gari Kasparow, wynik w wygranych partiach: 3 : 2 dla człowieka;
- 1997 – IBM: zmodyfikowany „Deep Blue” kontra Gari Kasparow, 2 : 3 : 1 dla komputera (w 2012 roku wykazano błąd oprogramowania, który mógł zaskoczyć Kasparowa, dając zwycięstwo programowi);
- 2003 – program „X3D Fritz” (zespołu X3D) kontra Gari Kasparow, wynik: 1 : 1;
- 2017 – samouczący system Alpha Zero (konsorcjum DeepMind, zespół Demisa Hassabis) kontra inny system szachowy – Stockfish 8 (zespół Marco Costalba) 25 : 72 : 3.

Go¹⁰⁰

- 2015 – AlphaGo (DeepMind, D. Hassabis) kontra Fan Hui (2 dan go), 5 : 0 (Nature, 2017);

⁹⁵ P. Łaszczyca: *Człowiek i jego maszyny...*

⁹⁶ *Google Translate*, https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Translate, dostęp: 17.04.2018.

⁹⁷ *Chinese room*, https://en.wikipedia.org/wiki/Chinese_room, dostęp: 17.04.2018.

⁹⁸ B. Zoph, V. Vasudevan, J. Shlens i in., *Learning Transferable...*

⁹⁹ *Human-computer chess matches*, https://en.wikipedia.org/wiki/Human%E2%80%93computer_chess_matches, dostęp: 25.04.2018.

¹⁰⁰ C. Koch, *How the Computer Beat the Go Master*, „Scientific American”, 19.03.2016, <https://www.scientificamerican.com/article/how-the-computer-beat-the-go-master/>, dostęp: 10.01.2018

- 2016 – kolejna wersja AlphaGo (już z 9 dan) kontra Lee Sedol (9 dan), 4 : 1 po 35 godzinach;
- 2017 – najnowsza AlphaGo Zero (startująca od zbioru reguł i trenująca przeciw sobie przez tydzień!) kontra Świat – nie ma mocnych, system opracował algorytmy gry nieznane dotychczas ludziom.

Algorytm AlphaGo oparty jest na sieciach neuronowych wykorzystujących kombinację uczenia maszynowego, algorytmu alfa-beta oraz technik przechodzenia drzewa decyzji (Monte-Carlo Tree Search). Odbywa rozgrywki szkoleniowe przeciw innym programom i ludziom.

W przeciwieństwie do szachów i go, które są grami nieelosowymi z pełną informacją, rozrywka pokerowa Texas Hold'em (teksański klincz bez ograniczeń) jest grą z niepełną informacją i elementem losowym. W rozgrywkach między ludźmi wymaga „intuicji” i odwołuje się m.in. do prowokowania emocji. I w tym przypadku systemy komputerowe zwyciężyły mistrzowskich graczy:

- w 2015 roku Claudico (stworzony w Carnegie Mellon Univ.) zremisował 2 : 2 przeciw 4 graczom (Doug Polk, Bjorn Li, Dong Kim, Jason Les);
- w 2016 roku Libratus (Carnegie Mellon Univ.), wykorzystując algorytm siłowy bez „deep learning”, uzyskał podczas 20 dni na zawodach w Pittsburghu lepsze wyniki niż 4 graczy w 120 tys. rozdań;
- w 2016 roku system DeepStack (stworzony przez naukowców z Univ. Alberta i Czech Tech. Univ. Prague) oparty na „deep learning”, w ciągu 4 tygodni wygrał w serii 44 852 rozgrywek przeciw 33 profesjonalistom, uzyskując przewagę 486 *milli-big-blinds per game* (wartość wielkiego ciemnego przebiccia)¹⁰¹.

Tab. 4. Zestawienie własności sztarndarowych gier strategicznych, w których sztuczna inteligencja pokonała ludzi – mistrzów

	Średnia liczba ruchów	Liczba figur (kart)	Liczba pól	Wskaźnik rozgałęzienia	Liczba możliwych ruchów	Liczba możliwych ruchów
Szachy	80	32	8 × 8	35	35 ⁸⁰	10 ¹²³
Go	150	300	19 × 19	250	250 ¹⁵⁰	10 ³⁶⁰
Poker, teksański klincz bez ogr.	5 × (≥2)*	52		20 000		10 ¹⁶³
Wszechświat	Szacunkowa liczba atomów					10 ⁸⁰

* – liczba rozdań/poziomów licytacji z udziałem co najmniej 2 graczy, maksymalna liczba graczy – 7

¹⁰¹ V. Cross, *Artificial Intelligence in Poker Infographic: History and Implications*, <https://www.pokernews.com/news/2017/10/artificial-intelligence-poker-history-implications-29117.htm>, dostęp: 6.10.2017.

Inne zastosowania sztucznej inteligencji zadaniowej obejmują:

- roboty przemysłowe;
- roboty medyczne – np. RobinHeart;
- drony badawcze – np. Scout (transatlantic drone), Vawe Glidder Drone;
- drony bojowe, w tym autonomiczne – np. Cruise, Predator;
- roboty towarzyszące i opiekuńcze – np. Nao;
- roboty zabawki i edukacyjne – np. Kinect;
- systemy autonomicznego sterowania pojazdami (autopiloty) i kontroli ruchu – np. Tesla;
- systemy nawigacji – np. Google Maps;
- systemy tłumaczenia tekstów – np. Google Translate;
- systemy rozpoznawania pisma – np. OCR;
- systemy rozpoznawania obrazu – np. NASnet;
- systemy identyfikacji biometrycznej;
- systemy eksperckie – np. prognoz meteo i klimatycznych, medyczne systemy diagnostyczne, IBM Watson;
- system zarządzania produkcją i administracją – np. prekursor SAP (?);
- systemy ewidencji ludności i usług społecznych;
- systemy szpiegowskie i dywersyjne – np. Echelon, Stuxnet;
- internet rzeczy, w tym inteligentne domy.

Każde z tych zastosowań AI ma bogate piśmiennictwo. W przypadku militarnych wcieleń AI są to tajne raporty i oryginalne doniesienia – opisy w czasopismach naukowych, materiały promocyjne¹⁰², przeglądy branżowe (np. *Robotyzacja pola walki*)¹⁰³, artykuły popularyzatorskie (*Śmiercionośne bezzałogowce*)¹⁰⁴ i wreszcie „resume” w Wikipedii (np. *Cyberwarfare*)¹⁰⁵. Analiza funkcjonowania tych systemów, z uwzględnieniem ich ograniczenia do preprogramowanych zadań, nie wskazuje na istnienie przypadku fałsyfikującego prezentowaną definicję inteligencji.

Człowiek czy maszyna – przewagi i ubezwłasnowolnienie

W 1951 roku Paul M. Fitts¹⁰⁶ opublikował raport na temat względnych przewag ludzi i maszyn w pracy. W standardowych zadaniach maszyny były szybsze, silniejsze, nie

¹⁰² Por. [Boston Dynamics], *BigDog. The First Advanced Rough-Terrain Robot*, <https://www.bostondynamics.com/bigdog>, dostęp: 17.04.2018.

¹⁰³ M. Depczyński, *Robotyzacja pola walki*, „Przegląd Sił Zbrojnych” 2017, nr 5, s. 124–132. Por. także: K. Kwapisz, *Operacje informacyjne narzędziem walki*, „Przegląd Sił Zbrojnych” 2017, nr 5, s. 88–95; S. Czeszejko, *Dlaczego środowisko elektroniczne?*, „Przegląd Sił Zbrojnych” 2017, nr 5, s. 104–115; D. Mikołajewski, *Egzoskielety – zastosowanie wojskowe*, „Przegląd Sił Zbrojnych” 2017, nr 5, s. 133–139.

¹⁰⁴ R. Czulga, *Śmiercionośne bezzałogowce*, „Wiedza i Życie” 2018, maj, s. 19–21.

¹⁰⁵ *Cyberwarfare*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Cyberwarfare>, dostęp: 17.04.2018.

¹⁰⁶ P.M. Fitts, *Human Engineering for an Effective Air Navigation and Traffic Control System*, Oxford 1951.

podlegały zmęczeniu, nie zapominały kolejności wykonywanych czynności, były tańsze w użyciu, ale za to nie podejmowały decyzji, nie wykazywały inteligencji i możliwości modyfikacji działania. Były jednak też bardziej podatne na błędy związane z niejednoznacznością przekazywanej informacji, a ich sprawność w warunkach awarii załamywała się szybko i całkowicie. Nie wiadomo, czy plusem czy minusem było to, że nie myślały i nie robiły zakupów. Wyniki porównań zmieniły się w czasie minionych 70 lat i zestawienie cech człowieka i maszyny – komputera, dokonane przez Raja Parasuramana (2000)¹⁰⁷, koncentruje się już nie na mechanice, lecz na przetworzeniu informacji i podejmowaniu decyzji. Pierwszy stopień interakcji to sytuacja, gdy komputer dostarcza nieobrobionych danych, a reszta procesu przetwarzania informacji i decydowanie należy do mózgu człowieka. Poprzez sytuację, gdy komputer proponuje rozwiązanie i czeka na decyzję lub sprzeciw, Parasuraman dochodzi do 10 stopnia interakcji, w której komputer przygotowuje wariantowe reakcje i podejmuje decyzje, nie informując o niczym człowieka, nawet o samym zajściu sytuacji wymagającej podjęcia decyzji. Chwilowo nierozstrzygniętym problemem jest, kto ma ponosić odpowiedzialność za błędne, katastrofalne decyzje, podjęte bez udziału człowieka przez systemy sztucznej inteligencji. Problem ma już praktyczne odniesienia opisywane w prasie codziennej.

BI kontra AI – hardware i software

Porównując własności funkcjonalne ludzkiego mózgowia i systemów komputerowych realizujących sztuczną inteligencję, dostrzegamy na przemian ludzkie przewagi i słabości.

Poważnym pytaniem jest, czego (jeszcze) nie mają maszyny – systemy sztucznej inteligencji. Jak na razie AI nie ma:

- emocji;
- motywów (w sensie samodzielnie generowanych celów działania);
- świadomości;
- samodoskonalącego nieograniczonego rozwoju, czyli „auto-ewolucji” (ale można zastanawiać się, czy nie zachodzi on spontanicznie w sieciach neuronowych i WWW (?),
- samodzielnej reprodukcji z dziedziczeniem cech – odpowiednika rozmnażania u istot żywych;
- i niezależnej od człowieka kultury materialnej.

W szczególności nie ma też motywacji do zarabiania, kupowania oraz wypoczynku.

Znaczną przewagą sztucznej inteligencji mógłby okazać się szybki i wierny transfer wiedzy („po kablu” lub za pomocą WiFi) do nowych egzemplarzy inteligentnych maszyn. Transfer taki, u ludzi zachodzący w szkole, natrafia na bariery instytucjonalne i indywidualne. Nierzadko barierą jest zwykły opór lub brak zainteresowania młodego osobnika inteligentnego gatunku.

¹⁰⁷ R. Parasuraman, T.B. Sheridan, C.D. Wickens, *A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation*, „IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans” 2000, vol. 30 (3), s. 286–297.

Tab. 5. Porównanie własności strukturalnych i funkcjonalnych systemów biologicznej i sztucznej – elektronicznej inteligencji

Mózg – neurony	„Komputer” – procesor – układy scalone
<ul style="list-style-type: none"> • Taktowanie: max. 200 Hz (?) (55 Hz czopki, < 10 Hz reakcje ruchowe) • Amplituda napięcia: 0,1 V • Przewodzenie: 0,3–100 m/s + 0,1–5 ms/synapsę • Liczba elementów logicznych (N –neurony, G – glej): <ul style="list-style-type: none"> – 86–100 mld N + 90 (40–130) mld G, – mózdzek: 50–70 mld N + 3 mld G, – kora: 10–20 mld (!) N + 18–40 mld G • + ~50 (?) mld G w istocie białej i pniu mózgu. • Liczba synaps: $\pm 10^4 \times 10^{11} = 10^{15}$ • Liczba minikolumn korowych: 2×10^8 • Liczba komórek Purkiniego: 15×10^6 • Moc (energetyczna): 15 W 	<ul style="list-style-type: none"> • Taktowanie: 1–4 GHz, max < 500 GHz. • Amplituda napięcia: 1,5 V. • Przewodzenie: 300×10^6 m/s + 10–20 ms/kondensator DRAM? • Liczba elementów logicznych: 72 mld (tranzystorów w CPU); max 30 mld (Stratix 10) + koprocесory • Liczba złączy aktywnych logicznie: $\pm 3 \times 10^{10}$ • Moc (energetyczna): 50–80 W
<ul style="list-style-type: none"> • Wyróżnione w budowie systemy WEJŚCIE – WYJŚCIE (analizatory i efektory): <ul style="list-style-type: none"> – zintegrowane z systemem przetwarzania, – wyspecjalizowane, – preprogramowane, – samomodyfikowane przez wczesne doświadczenie, – oparte na detekcji różnic, – wyjście uniwersalne/mało wyspecjalizowane. 	<ul style="list-style-type: none"> • Systemy WEJŚCIE – WYJŚCIE często zewnętrzne (odłączalne) • Zunifikowane w CPU systemy przetwarzania: <ul style="list-style-type: none"> – niespecyficzne (mało specyficzne), – funkcje i algorytm przetwarzania nadaje oprogramowanie, – samomodyfikowalność tylko w modułach przetwarzania w przypadku sieci neuronowych, – wyjścia wysokospecjalizowane.
<ul style="list-style-type: none"> • Pobudzenie: zmienna ciągła lub skokowa • Przetworzenie elektro-chemiczne i chemo-elektryczne • Sumowanie czasowe i przestrzenne • Przetworzenie analogowo-cyfrowe (logika rozmyta/logika dwuwartościowa) • Wzmacnianie i detekcja różnic – detektory różnic • Generowanie i rozpoznawanie wzorców aktywności: <ul style="list-style-type: none"> – detektory wzorców (memy?) – kodowanie częstotliwościowe, – kodowanie chemiczne, – kodowanie przestrzenne. • Przesyłanie między modułami przetwarzania („ośrodki”) – (kojarzenie „różnicowe”) • Plastyczność (samomodyfikowalność) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pobudzenie – tranzystory – bramki logiczne • Stany 0–1 (napięcie) – sygnał (1 bit) • Ciągi 2ⁿ stanów – słowa kodu np. 32-bitowe lub 64-bitowe • Rozkazy parametry i argumenty (w języku maszynowym) – w tym operacje i funkcje logiczne (m.in. + - > = < +1 -1 × (-1) AND OR XOR NOT ...) • Dane, adresy, programy, w tym: <ul style="list-style-type: none"> – oprogramowanie układów (BIOS), – oprogramowanie systemowe, – system operacyjny (DOS, Android i inne), – programy użytkowe (aplikacje). • Zakaz samomodyfikowalności – „read only” – ale: sieci neuronowe i „next generation”

Na podstawie: S. Longstaff, *Krótkie wykłady. Neurobiologia*, tłum. G. Hess i in., Warszawa 2006; S. Herculano-Houzel, Ch.E. Collins, P. Wong i in., *Cellular scaling rules for primate brains...*; *Procesor*, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Procesor>, dostęp: 20.04.2018; *Superkomputer*, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Superkomputer>, dostęp: 20.04.2018; *Top500 Supercomputer Sites*, <https://www.top500.org/>, dostęp: 20.04.2018; *Watson (superkomputer)*, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Watson_\(superkomputer\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Watson_(superkomputer)), dostęp: 20.04.2018.

W powszechnym przekonaniu postęp w rozwoju systemów elektronicznych i sztucznej inteligencji opisywało prawo Moore'a¹⁰⁸ (duplikacja upakowania układów scalonych co 18 miesięcy). Fizyczna rzeczywistość jest bardziej złożona. Rozwojem rządzi zasada malejących przychodów (względem rosnących nakładów – bliska chemicznej regule przekory Le Chateliera) i zasada autokatalitycznego efektu akumulacji zmian. W świecie biologii i ekonomii ogranicza je zasada tolerancji Shelforda¹⁰⁹ wyznaczająca granice optimum dla przebiegu procesów. Zasady te są zbieżne z zasadami rozwoju złożonych systemów Geoffreya Westa¹¹⁰. Wyłomy w nich pojawiają się jedynie w sytuacji niespodziewanych odkryć – zdarzeń z domeny teorii katastrof. Jako ludzkość i BI mamy szczęście lub pecha uczestniczyć w testowaniu tych praw w odniesieniu do wzrastania zasobów informacji i rozwoju AI – sztucznej konkurencji.

Podsumowanie

Rosnąca świadomość na temat objawów inteligencji istot żywych innych niż człowiek, wytworzenie elektronicznych systemów sztucznej inteligencji zadaniowej oraz prognozy powstania sztucznej, samoświadomej, twardej inteligencji skłaniają do redefiniowania samego pojęcia inteligencji. Można przyjąć, że decydująca i uniwersalna będzie definicja odwołująca się do przetwarzania informacji. Krytycznie potraktowana definicja inteligencji Wissnera-Grossa i Freera ukierunkowuje rozważania w stronę inteligencji jako procesu informatycznego modelowania i predykcji stanów dowolnego wycinka świata zachodzących w sprzężeniu zwrotnym. Przynajmniej w tym artykule autor nie był w stanie wskazać argumentów falsyfikujących taką koncepcję inteligencji. Istotnym problemem jest przy tym związek inteligencji z motywacjami, emocjami i samoświadomością. Niezależnie od tego tak rozumiana inteligencja staje się nieodzownym elementem memetyki i – poniekąd paradoksalnie – można mieć nadzieję, że modelowanie inteligencji daje szansę na rozwiązanie problemów współczesnego świata przez prawidłowe ukierunkowanie przekazu społecznego.

Bibliografia

Aiello L.C., *Brains and guts in human evolution: The Expensive Tissue Hypothesis*, „Brazilian Journal of Genetics” 1997, vol. 20 (1).

¹⁰⁸ Prawo Moore'a, https://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_Moore'a, dostęp: 25.04.2018.

¹⁰⁹ Zasada tolerancji ekologicznej Shelforda, https://pl.wikipedia.org/wiki/Zasada_tolerancji_ekologicznej_Shelforda, dostęp: 25.04.2018.

¹¹⁰ G. West, *Scale: The Universal Laws of Growth, Innovation, Sustainability, and the Pace of Life in Organisms, Cities, Economies, and Companies*, New York 2017; tegoż, *Mądrość w liczbach*, „Świat Nauki” 2013, nr 6 (262), s. 20; L.M.A. Bettencourt, J. Lobo, D. Helbing i in., *Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities*, „Proceedings of the National Academy of Sciences” 2007, vol. 104 (17), s. 7301–7306.

- Aiello L.C., Wheeler P., *The Expensive-Tissue Hypothesis: The Brain and the Digestive System in Human and Primate Evolution*, „Current Anthropology” 1995, vol. 36 (2).
- Alex (parrot), [https://en.wikipedia.org/wiki/Alex_\(parrot\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Alex_(parrot)), dostęp: 25.10.2018.
- Alexander R.D., *The evolution of social behavior*, „Annual Review of Ecology and Systematics” 1974, vol. 5 (1), <http://courses.washington.edu/ccab/Alexander1974.pdf>, dostęp: 18.12.2018.
- Ardey R., *The Hunting Hypothesis*, New York 1976.
- Artificial General Intelligence, https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_general_intelligence, dostęp 30.04.2018.
- Babington Macaulay T., *Works*, vol. XI, *Essay on the Athenian orators*, 1851.
- Baker T., *Artificial Intelligence. The Power of Two: Neural Cliques Provide a Prewired Framework For How Neurons Connect*, „Neuroscience News”, 22.10.2015.
- Balduzzi D., Tononi G., *Integrated Information in Discrete Dynamical Systems: Motivation and Theoretical Framework*, „PLoS Computational Biology” 2009, vol. 4/6.
- Bettencourt L.M.A., Lobo J., Helbing D. i in., *Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities*, „Proceedings of the National Academy of Sciences” 2007, vol. 104 (17).
- Blackmore S., *Maszyna memowa*, przed. R. Dawkins, przeł. N. Radomski, Poznań 2002.
- Boesch C., Bombjaková D., Boyette A. i in., *Technical intelligence and culture: Nut cracking in humans and chimpanzees*, „American Journal of Physiological Anthropology” 2017, vol. 163 (2).
- [Boston Dynamics], *BigDog. The First Advanced Rough-Terrain Robot*, <https://www.bostondynamics.com/bigdog>, dostęp: 17.04.2018.
- Bringsjord S., Licato J., Govindarajulu N.S. i in., *Real Robots that Pass Human Tests of Self-Consciousness*, http://kryten.mm.rpi.edu/SBringsjord_et_al_self-con_robots_kg4_0601151615NY.pdf, dostęp: 18.12.2018.
- Broom D.M., Sena H., Moynihan K.L., *Pigs learn what a mirror image represents and use it to obtain information*, „Animal Behaviour” 2009, vol. 78 (5).
- Budelmann B.U., *The cephalopod nervous system: What evolution has made of the molluscan design*, w: *The Nervous Systems of Invertebrates: An Evolutionary and Comparative Approach*, ed. O. Breidbach, W. Kutsch, Basel 1995.
- Buhner S.H., *Plant Consciousness: The Fascinating Evidence Showing Plants Have Human Level Intelligence, Feelings, Pain and More*, <https://www.consciouslifestylemag.com/plant-consciousness-intelligence-feeling/>, dostęp: 20.04.2018.
- Cagliano M., Renton M., Depczynski M. i in., *Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters*, „Oekologia” 2014, vol. 175.
- Calvin W.H., *How Brains Think: Evolving Intelligence*, New York 1996.
- Cambridge Analytica, https://en.wikipedia.org/wiki/Cambridge_Analytica, dostęp: 17.04.2018.
- Carvalho S., Biro D., McGrew W.C. i in., *Tool-composite reuse in wild chimpanzees (Pan troglodytes): archaeologically invisible steps in the technological evolution of early hominins?*, „Animal Cognition” 2009, vol. 12, suppl. 1.
- Catastrophe theory, https://en.wikipedia.org/wiki/Catastrophe_theory, dostęp: 18.04.2018.

- Cephalopods intelligence*, https://en.wikipedia.org/wiki/Cephalopod_intelligence, dostęp: 17.04.2018.
- Chappell J., Kacelnik A., *Tool selectivity in a non-mammal, the New Caledonian crow (Corvus moneduloides)*, „Animal Cognition” 2002, vol. 5 (2).
- Chaos theory*, https://en.wikipedia.org/wiki/Chaos_theory, dostęp: 18.04.2018.
- Chinese room*, https://en.wikipedia.org/wiki/Chinese_room, dostęp: 17.04.2018.
- Cross V., *Artificial Intelligence in Poker Infographic: History and Implications*, <https://www.pokernews.com/news/2017/10/artificial-intelligence-poker-history-implications-29117.htm>, dostęp: 6.10.2017.
- Cruse H., Schilling M., *Mental States as Emergent Properties. From Walking to Consciousness*, „Open MIND” 2015, vol. 9.
- Cvrčková F., Lipovská H., Žórský V., *Plant intelligence. Why, why not or where*, „Plant Signalling and Behavior” 2009, vol. 4–5.
- Cyberwarfare*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Cyberwarfare>, dostęp: 17.04.2018.
- Czeszejko S., *Dlaczego środowisko elektroniczne?*, „Przegląd Sił Zbrojnych” 2017, nr 5.
- Czulga R., *Śmiercionośne bezałogowce*, „Wiedza i Życie” 2018, maj.
- Dart R.A., *The predatory transition from ape to man*, „International Anthropological and Linguistic Review” 1953, nr 1.4.
- David-Barrett T., Dunbar R.I.M., *Processing Power Limits Social Group Size: Computational Evidence for the Cognitive Costs of Sociality*, „Proceedings of the Royal Society B” 2013, vol. 280 (1765).
- Davidson B., *Stara Afryka na nowo odkryta*, przeł. E. Werfel, Warszawa 1972.
- De Miguel C., Hennerberg H., *Variation in hominid brain size: How much is due to method?*, „HOMO – Journal of Comparative Human Biology” 2001, vol. 52 (1).
- Depczyński M., *Robotyzacja pola walki*, „Przegląd Sił Zbrojnych” 2017, nr 5.
- Dewar C.S., Psych M.R.C., *Enhanced nutrition of offspring as a crucial factor for the evolution of intelligence on land*, „Medical Hypotheses” 2004, vol. 62 (5).
- Ditfurth H. von, *Nie tylko z tego świata jesteśmy*, przeł. A. Tauszyńska, Warszawa 1994.
- Dr. Alexander D. Wissner-Gross, <https://www.alexwg.org/>, dostęp: 27.12.2017.
- Dunbar R.I.M., *The social brain hypothesis*, „Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews” 1998, vol. 6 (5).
- Dynamic energy budget theory*, https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_energy_budget_theory, dostęp: 22.01.2018.
- Entropica: Sapient Software*, <https://www.youtube.com/watch?v=cT8ZqChv8P0>, dostęp: 12.12.2018.
- Falsyfikacja*, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Falsyfikacja>, dostęp: 25.04.2018.
- Fijałkowski K.R., *Lack of water and endurance running could have caused the exponential growth in human brain. 'Point of no return' model*, <https://arxiv.org/pdf/1312.540>, dostęp: 18.12.2018.
- Fijałowski K.R., Bielicki T., *Homo przypadkiem sapiens*, Warszawa 2008.

- Fitts P.M., *Human Engineering for an Effective Air Navigation and Traffic Control System*, Oxford 1951.
- Flinn M.V., Geary D.C., Ward C.V., *Ecological dominance, social competition, and coalitionary arms races: Why humans evolved extraordinary intelligence*, „*Evolution and Human Behavior*” 2005, vol. 26 (1).
- Fractal*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Fractal>, dostęp: 17.04.2018.
- Galeon D., *Google's Artificial Intelligence built an AI that outperforms any made by humans*, <https://futurism.com/google-artificial-intelligence-built-ai>, dostęp: 18.12.2018.
- Google Translate*, https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Translate, dostęp: 17.04.2018.
- Gould S.J., *The mismeasure of man*, New York 1994.
- Grande C.F., *Energy metabolism of the brain in children*, „*Annales Espaniolea de Pediatria*” 1979, vol. 12 (3).
- Grassmann S., Kaminski J., Tomasello M., *How two word-trained dogs integrate pointing and naming*, „*Animal Cognition*” 2012, vol. 15 (4).
- Gua (chimpanzee)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Gua_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gua_(chimpanzee)), dostęp: 25.10.2018.
- Handicap principle*, https://en.wikipedia.org/wiki/Handicap_principle, dostęp: 17.11.2017.
- Harari Y.N., *Homo Deus, Krótka historia jutra*, przeł. M. Romanek, Kraków 2018.
- Harari Y.N., *Sapiens. Od zwierząt do bogów*, przeł. J. Hunia, Warszawa 2017.
- Heino M., Kaitala V., *Evolution of Resource Allocation Between Growth and Reproduction in Animals with Indeterminate Growth*, „*Journal of Evolutionary Biology*” 1999, vol. 12 (3).
- Herculano-Houzel S., Collins Ch.E., Wong P. i in., *Cellular scaling rules for primate brains*, „*PNAS*” 2007, vol. 104 (9).
- Herculano-Houzel S., Lent L., *Isotropic fractionator: a simple, rapid method for the quantification of total cell and neuron numbers in the brain*, „*Journal of Neuroscience*” 2005, vol. 25.
- Hochner B., Shomrat T., Fiorito G., *The octopus: a model for a comparative analysis of the evolution of learning and memory mechanisms*, „*Biological Bulletin*” 2006, vol. 210 (3).
- Holzhaider J.C., Sibley M.D., Taylor A.H. i in., *The social structure of New Caledonian crows*, „*Animal Behaviour*” 2011, vol. 81 (1).
- Hooper R., *What do chimp 'temples' tell us about the evolution of religion?*, „*New Scientist Daily News*”, 4.03.2016, <https://www.newscientist.com/article/2079630-what-do-chimp-temples-tell-us-about-the-evolution-of-religion/>, dostęp: 15.03.2018.
- Human-computer chess matches*, https://en.wikipedia.org/wiki/Human%E2%80%93computer_chess_matches, dostęp: 25.04.2018.
- Humphrey N., *Social function of intellect*, w: *Growing Points in Ethology*, ed. P.P.G. Bateson, R.A. Hinde, Cambridge 1976.
- Hunt G.R., *Manufacture and use of hook-tools by New Caledonian crows*, „*Nature*” 1996, vol. 379.
- Inoue-Nakamura N., Matsuzawa T., *Development of stone tool use by wild chimpanzees (Pan troglodytes)*, „*Journal of Comparative Psychology*” 1997, vol. 111 (2).
- Intelligence*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligence>, dostęp: 30.08.2017.

- Kanzi, <https://en.wikipedia.org/wiki/Kanzi>, dostęp: 25.10.2018.
- Kappen H.J., *Comment: Causal entropic forces*, 15.12.2013, <https://arxiv.org/abs/1312.4185>,
dostęp: 10.03.2018.
- Kenward B., Rutz C., Weir A.A.S. i in., *Morphology and sexual dimorphism of the New Caledonian Crow Corvus moneduloides, with notes on its behaviour and ecology*, „Ibis – International Journal of Avian Science” 2004, vol. 146.
- Koch C., A., *„Complex” Theory of Consciousness. Is complexity the secret to sentience, to a panpsychic view of consciousness?*, „Scientific American” 1.07.2009.
- Koch C., *How the Computer Beat the Go Master*, „Scientific American”, 19.03.2016, <https://www.scientificamerican.com/article/how-the-computer-beat-the-go-master/>, dostęp: 10.01.2018.
- Köhler W., *The Mentality of Apes*, New York 1925.
- Koko (gorilla), [https://en.wikipedia.org/wiki/Koko_\(gorilla\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Koko_(gorilla)), dostęp: 25.10.2018.
- Kozłowski J., Teriokhin A.T., *Allocation of Energy Between Growth and Reproduction: The Pontryagin Maximum Principle Solution for the Case of Age- and Season-dependent Mortality*, „Evolutionary Ecology Research” 1999, vol. 1.
- Kozłowski J., Wiegert R.G., *Optimal Allocation of Energy to Growth and Reproduction*, „Theoretical Population Biology” 1986, vol. 29 (1).
- Kühl H.S., Kalan A.K., Arandjelovic M. i in., *Chimpanzee accumulative stone throwing*, „Scientific Reports” 2015, vol. 6.
- Kuzawa C.W., Chugani H.T., Grossman L.I. i in., *Metabolic costs and evolutionary implications of human brain development*, „PNAS” 2014, vol. 111 (36).
- Kwapisz K., *Operacje informacyjne narzędziem walki*, „Przegląd Sił Zbrojnych” 2017, nr 5.
- Kwaśniewski T., *„Gdy powstanie sztuczna inteligencja, to zdecyduje, czy w ogóle pozwoli nam żyć”*, wywiad z Dariuszem Jemielnikiem i Aleksandrą Przeglasińską, „Wysokie Obcasy Extra”, 18.10.2017, <http://www.wysokieobcasy.pl/wysokie-obcasy/7,152731,22530613,gdy-powstanie-sztuczna-inteligencja-to-zdecyduje-czy-w-ogole.html>, dostęp: 18.10.2017.
- Lana (chimpanzee), [https://en.wikipedia.org/wiki/Lana_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lana_(chimpanzee)), dostęp: 25.10.2018.
- Legg S., Hutter M., *A Collection of Definitions of Intelligence*, „Frontiers in Artificial Intelligence and Applications” 2007, vol. 57.
- Lehrl S., Fischer B., *The basic parameters of human information processing: Their role in the determination of intelligence*, „Personality and Individual Differences” 1988, vol. 9 (5).
- Logan C.J., Breen A.J., Taylor A.H. i in., *How New Caledonian crows solve novel foraging problems and what it means for cumulative culture*, „Learning & Behavior” 2015, vol. 44 (1).
- Longstaff S., *Krótkie wykłady. Neurobiologia*, tłum. G. Hess i in., Warszawa 2006.
- Lorenz E.N., *Deterministic non-periodic flow*, „Journal of the Atmospheric Sciences” 1963, vol. 20 (2).
- Luna, a wild whale, tries to communicate with humans a bit, well, creatively,
<https://www.youtube.com/watch?v=gNJ868xbt28>, dostęp: 12.11.2017.
- Łaszczyca P., *Człowiek i jego maszyny. Operatorzy i protezy*, „Filo-Sofija” 2017, nr 39, <http://www.filo-sofija.pl/index.php/czasopismo/article/view/1153/1125>, dostęp: 18.12.2018.

- Łaszczyca P., *Memy w pamięci: jak wysledzić memy w mózgu*. „Teksty z ulicy. Zeszyt memetyczny” 2017, nr 18.
- Martin L.J., Hathaway G., Isbester K. i in., *Reducing social stress elicits emotional contagion of pain in mouse and human strangers*, „Current Biology” 2015, vol. 25 (3).
- Massen J.J., Ritter C., Bugnyar T., *Tolerance and reward equity predict cooperation in ravens (Corvus corax)*, „Nature Science Reports” 2015, vol. 5.
- Matsuzawa T., *The Ai project: Historical and ecological contexts*, „Animal Cognition” 2003, vol. 6 (4).
- Meguerditchian J.A., Vuillemin A., Pruett J.D., *Identifying the Ape Beat in the Wild: Rhythmic Individual Signatures from the Sounds of Manual Fruit Cracking in Fongoli Chimpanzees*, https://www.researchgate.net/publication/324479818_Identifying_the_Ape_Beat_in_the_Wild_Rhythmic_Individual_Signatures_from_the_Sounds_of_Manual_Fruit_Cracking_in_Fongoli_Chimpanzees, dostęp: 27.08.2018.
- Microtargeting*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Microtargeting>, dostęp: 17.04.2018.
- Mikołajewski D., *Egzoskielety – zastosowanie wojskowe*, „Przegląd Sił Zbrojnych” 2017, nr 5.
- Miller A.K., Alston R.L., Corsellis J.A., *Variation with age in the volumes of grey and white matter in the cerebral hemispheres of man: measurements with an image analyser*, „Neuropathology and Applied Neurobiology” 1980, vol. 6.
- Miller G., *Umysł w zalotach. Jak wybory seksualne kształtowały naturę człowieka*, przeł. M. Koraszewska, Poznań 2004.
- Morris D., *Naga małpa*, przeł. T. Bielicki, J. Koniarek, J. Prokopiuk, Warszawa 1974.
- Muñoz P., *Notas Cordobesas*, <http://notascordobesas.blogspot.com>, dostęp: 26.01.2018.
- Nabla*, https://pl.wikipedia.org/wiki/Operator_nabla, dostęp: 17.11.2017.
- Nash equilibrium*, https://en.wikipedia.org/wiki/Nash_equilibrium, dostęp: 15.01.2018.
- Ndiaye P.I., Lindshield S., Boyer O.K.M. i in., *Survey of chimpanzees outside of protected areas in southeastern Senegal*, „African Journal of Wildlife Research” 2018, vol. 67 (2).
- Nim Chimpsky*, https://en.wikipedia.org/wiki/Nim_Chimpsky, dostęp: 25.10.2018.
- Nisbett R.E., Aronson J., Blair C. i in., *Intelligence. New Findings and Theoretical Developments*, „American Psychological Association” 2012, vol. 67 (2).
- Oakley K., *Man the Toolmaker*, London 1951.
- Octopus*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Octopus>, dostęp: 17.04.2018.
- Panbanisha*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Panbanisha>, dostęp: 25.10.2018.
- Parasuraman R., Sheridan T.B., Wickens C.D., *A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation*, „IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans” 2000, vol. 30 (3).
- Pavlov's typology*, https://en.wikipedia.org/wiki/Pavlov's_typology, dostęp: 15.03.2018.
- Piaget's theory of cognitive development*, https://en.wikipedia.org/wiki/Piaget's_theory_of_cognitive_development, dostęp: 15.03.2018.
- Perrin N., Sibly R.M., *Dynamic Models of Energy Allocation and Investment*, „Annual Review of Ecology and Systematics” 1993, vol. 24.

- Pilley J.W., Reid A.K., *Border collie comprehends object names as verbal referents*, „Behavioural Processes” 2011, vol. 86.
- Prabhat S., *Difference Between Concrete and Abstract Thinking*, „DifferenceBetween.net”, 31.03.2010, <http://www.differencebetween.net/language/difference-between-concrete-and-abstract-thinking/>, dostęp: 27.12.2017.
- Prawo Moore’a, https://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_Moore'a, dostęp: 25.04.2018.
- Preston E., *Dolphins that work with humans to catch fish have unique accent*, „New Scientist Daily News”, 2.10.2017.
- Procesor, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Procesor>, dostęp: 20.04.2018.
- Pruetz J.D., *Nocturnal behavior by a diurnal ape, the West African chimpanzee (*Pan troglodytes verus*), in a savanna environment at Fongoli, Senegal*, „American Journal of Physical Anthropology” 2018, vol. 66 (3), DOI: 10.1002/ajpa.23434.
- Quiroga R.Q., *Gnostic cells in the 21st century*, „Acta Neurobiologiae Experimentalis” 2013, vol. 73.
- Raichle M.E., Gusnard D.A., *Appraising the brain's energy budget*, „PNAS” 2002, vol. 99 (16).
- Range F., Horn L., Viranyi Z. i in., *The absence of reward induces inequity aversion in dogs*, „PNAS” 2009, vol. 106 (1).
- Reid C.R., Latty T., Dussutours A. i in., *Slime mold uses an externalized spatial “memory” to navigate in complex environments*, „PNAS” 2012, vol. 109 (43).
- Rico (dog), [https://en.wikipedia.org/wiki/Rico_\(dog\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Rico_(dog)), dostęp: 25.10.2017.
- Ridgway S., *Spontaneous Human Speech Mimicry by a Cetacean*, „Current Biology” 2012, vol. 22 (20).
- Ridley M., *Czerwona królowa*, przeł. J.J. Bojarski, A. Milos, Poznań, 1999.
- Rinkus G.J., *A cortical sparse distributed coding model linking mini- and macrocolumn-scale functionality*, „Frontiers in Neuroanatomy” 2010, vol. 4.
- Sarah (chimpanzee), [https://en.wikipedia.org/wiki/Sarah_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sarah_(chimpanzee)), dostęp: 25.10.2018.
- Scharf M., *A new Equation for Intelligence $F = T \nabla S_T$ – a Force that Maximises the Future Freedom of Action*, „Eclipse and Java Blog by Michael Scharf”, <http://michaelscharf.blogspot.com/2014/02/a-new-equation-for-intelligence-f-t-s.html>, dostęp: 12.12.2017.
- Skolik S., *Pacynki, trolle, spam, hoaxy i wandalizmy. Mechanizmy wykrywania oszustów w przestrzeni Wikipedii*, „Teksty z Ulicy. Zeszyt memetyczny” 2017, nr 18.
- Smith P.G., *The Mind of an Octopus*, „Scientific American”, 1.01.2017, <https://www.scientificamerican.com/article/the-mind-of-an-octopus/>, dostęp: 15.01.2018.
- Snyder A.Z., Raichle M.E., *A Brief History of the Resting State: the Washington University Perspective*, „Neuroimage” 2012, vol. 62 (2).
- Sokal A., *Transgressing the Boundaries: Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity*, „Social Texts” 1996, vol. 46/47.
- Son’kin V., Tambovtseva R., *Energy Metabolism in Children and Adolescents*, w: *Bioenergetics*, ed. J. Clark, <https://www.intechopen.com/books/bioenergetics/energy-metabolism-in-children-and-adolescents>, DOI: 10.5772/31457, dostęp: 18.12.2018.

- St Clair J.J.H., Burns Z.T., Bettaney E.M. i in., *Experimental resource pulses influence social-network dynamics and the potential for information flow in tool-using crows*, „Nature Communications” 2015, vol. 6.
- Steiner A.P., Redish A.D., *Behavioral and neurophysiological correlates of regret in rat decision-making on a neuroeconomic task*, „Nature Neuroscience” 2014, vol. 17.
- Steinhausen C., Zehl L., Haas-Rioth M. i in., *Multivariate Meta-Analysis of Brain-Mass Correlations in Eutherian Mammals*, „Frontiers in Neuroanatomy” 2016, vol. 10.
- Sultan (chimpanzee), [https://en.wikipedia.org/wiki/Sultan_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sultan_(chimpanzee)), dostęp: 27.12.2017.
- Superkomputer, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Superkomputer>, dostęp: 20.04.2018.
- Suzuki T.N., Wheatcroft D., Griesser M., *Experimental evidence for compositional syntax in bird calls*, „Nature Communications” 2016, vol. 7.
- Tegmark M., *Benefits & risks of AI*, Future of Life Institute, <https://futureoflife.org/background/benefits-risks-of-artificial-intelligence/>, dostęp: 18.10.2018.
- Teoria endosymbiozy, https://pl.wikipedia.org/wiki/Teoria_endosymbiozy, dostęp: 27.12.2017.
- The Story of One Whale Who Tried to Bridge the Linguistic Divide Between Animals and Humans*, <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/story-one-whale-who-tried-bridge-linguistic-divide-between-animals-humans-180951437/>, dostęp: 12.11.2017.
- Thom R., *Espaces fibrés en sphères et carrés de Steenrod*, „Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure” 1952, vol. 69.
- Thorndike's Intelligence Theory*, <https://managementmania.com/en/thorndikes-intelligence-theory>, dostęp: 15.03.2018.
- Tit for tat*, https://en.wikipedia.org/wiki/Tit_for_tat, dostęp: 15.01.2018.
- Tononi G., *Consciousness as Integrated Information: A Provisional Manifesto*, „Biological Bulletin” 2008, vol. 215 (3).
- Top500 Supercomputer Sites*, <https://www.top500.org/>, dostęp: 20.04.2018.
- Toro R., *On the Possible Shapes of the Brain*, „Evolutionary Biology” 2012, vol. 39.
- Trewavas T., *Plant Intelligence: An Overview*, „BioScience” 2016, vol. 66 (7).
- Tsien J.S., *A Postulate on the Brain's Basic Wiring Logic*, „Trends in Neuroscience” 2015, DOI: 10.1016/j.tins.2015.09.002.
- Tutorial: Concrete vs. Abstract Thinking*, http://www.projectlearn.net/tutorials/concrete_vs_abstract_thinking.html, dostęp: 27.12.2017.
- Viaud G., *Instynkty*, przeł. H. Waniczek, Warszawa 1965.
- Viki (chimpanzee), [https://en.wikipedia.org/wiki/Viki_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Viki_(chimpanzee)), dostęp: 25.10.2018.
- Waal F. de, *Bonobo i ateista. W poszukiwaniu humanizmu wśród naczelnych*, przeł. K. Kornas, Kraków 2018.
- Waal F. de, *Bystre zwierzę. Czy jesteśmy dość mądry, żeby zrozumieć mądrość zwierząt?*, przeł. Ł. Lamża, Kraków 2016.
- Waal F. de, *Chimpanzee Politics. Power and Sex among Apes*, Baltimore 2000.
- Washburn S.L., Lancaster C., *The evolution of hunting, w: Man the Hunter*, ed. R.B. Lee, Chicago 1968.

- Washoe (chimpanzee)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Washoe_\(chimpanzee\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Washoe_(chimpanzee)), dostęp: 25.10.2018.
- Watson (superkomputer)*, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Watson_\(superkomputer\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Watson_(superkomputer)), dostęp: 20.04.2018.
- Weir A.A.S., Kacelnik A., *A New Caledonian crow (Corvus moneduloides) creatively re-designs tools by bending or unbending aluminium strips*, „Animal Cognition” 2006, vol. 9.
- West G., *Mądrość w liczbach*, „Świat Nauki” 2013, nr 6 (262).
- West G., *Scale: The Universal Laws of Growth, Innovation, Sustainability, and the Pace of Life in Organisms, Cities, Economies, and Companies*, New York 2017.
- What are concrete and abstract thinking?*, http://www.projectlearn.net.org/tutorials/concrete_vs_abstract_thinking.html, dostęp: 27.12.2017.
- Wissner-Gross A.D., *A new equation for intelligence* [film video], https://www.ted.com/talks/alex_wissner_gross_a_new_equation_for_intelligence, dostęp: 18.12.2017.
- Wissner-Gross A.D., Freer C.E., *Causal Entropic Forces*, „Physical Review Letters” 2013, vol. 110.
- Wohlleben P., *Sekretne życie drzew*, przeł. E. Kochanowska, Kraków 2016.
- Wolfgang Köhler, https://en.wikipedia.org/wiki/Wolfgang_Köhler, dostęp: 27.12.2017.
- Wrangham R., *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*, London 2009.
- Wrangham R., Peterson D., *Demoniczne samce. Małpy człekokształtne i źródła ludzkiej przemocy*, przeł. M. Auriga, Warszawa 1999.
- Xie K., Fox G.E., Liu J. i in., *Brain Computation Is Organized via Power-of-Two-Based Permutation Logic*, „Frontiers in Systems Neuroscience” 2016, vol. 10.
- Yamamoto S., Humle T., Tanaka M., *Basis for Cumulative Cultural Evolution in Chimpanzees: Social Learning of a More Efficient Tool-Use Technique*, „PLoS ONE” 2013, vol. 8 (1).
- Yuste R., Church G.M., *Nowa era badań mózgu*, „Świat Nauki” 2014, nr 4, <https://www.swiatnauki.pl/8,1435.html>, dostęp: 18.12.2018.
- Zasada Gausego*, https://pl.wikipedia.org/wiki/Zasada_Gausego, dostęp: 29.12.2017.
- Zasada tolerancji ekologicznej Shelforda*, https://pl.wikipedia.org/wiki/Zasada_tolerancji_ekologicznej_Shelforda, dostęp: 25.04.2018.
- Zhang K., Sejnowski T.J., *An universal scaling law between gray matter and white matter of cerebral cortex*, „PNAS” 2000, vol. 97 (10).
- Zoph B., Vasudevan V., Shlens J. i in., *Learning Transferable Architectures for Scalable Image Recognition*, 2017, <https://arxiv.org/abs/1707.07012>, dostęp: 18.12.2018.

Nota o autorze

Piotr Łaszczyca – doktor habilitowany, pracownik Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego, specjalista fizjologii zwierząt i ekotoksykologii, prowadził badania w zakresie neurobiologii, fizjologii pracy, ekotoksykologii, zarządzania środowiskiem przyrodniczym. Wykładowca przedmiotów: biologiczne podstawy zachowania człowieka i zwierząt, biologiczne podstawy rozwoju i wychowania, ekologia człowieka, fizjologia pracy, zarys neurokognitywistyki.

Autor m.in. artykułów: *Memy w pamięci: jak wysledzić memy w mózgu* (2017), *Mózg w drodze do dojrzałości* (2016), *Kuna w kurniku i biologia nauczania* (2016), *Zaśmiecony umysł* (2003).

About the author

Piotr Łaszczyca – employed at Faculty of Biology and Environmental Protection, animal physiologist, conducted research in neurobiology, work physiology, ecotoxicology and environmental management. Lecturer of biological basis of human and animal behavior, human ecology, work physiology and principles of neurocognitivism. Author of popular articles: *Memy w pamięci: jak wysledzić memy w mózgu* (2017), *Mózg w drodze do dojrzałości* (2016), *Kuna w kurniku i biologia nauczania* (2016), *Zaśmiecony umysł* (2003).